Aus der Abteilung für Zahnerhaltung und Parodontologie-Süd
(Leiter: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. R. Harndt)
der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
des Fachbereiches für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

Räumliche Beziehungen zwischen Kavitätenpräparation und Pulpakammer bei Prämolaren

untersucht anhand eines dreidimensionalen Systems

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Hubert Südfels
aus Südlohn/Westf.

Lgds

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung und Parodontologie Süd
(Leiter: Professor Dr. med. Dr. med. dent. R. Harndt)
der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
des Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

Räumliche Beziehungen zwischen Kavitätenpräparation und Pulpakammer bei Prämolaren

untersucht anhand eines dreidimensionalen Systems

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Hubert Südfels
aus Südlohn/Westf.

Referent: Professor Dr. med. Dr. med. dent. R. Harndt

Korreferent: Professor Dr. med. dent. S. Wandelt

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 25. Juni 1985

Meiner Familie gewidmet.

Inhaltsübersicht

		Seite
1.	Einleitung	
2.	Literaturübersicht zur allgemeinen und speziellen Problemstellung	8
3.	Vorversuche	16
3.1	Das Palavit G und dessen Formverhalten	17
3.2	Eigene Untersuchungen zum Ausguß-verfahren mit Palavit G	20
3.2.1	Spritzmethode nach JOANNOU	20
3.2.2	Füllen der Galspipette mit der Handschleuder	22
3.2.3	Schleuderverfahren unter Zugabe einer Eisenfeilung	22
4.	Verhalten des Kunststoff-Eisen-gemisches gegenüber HCl	23
5.	Material und Methode	24
5.1	Material	24
5.2	Methode	25
5.2.1	Auflösung der Kronenpulpa	27
5.2.2	Herstellung der Hohlraumpräparate	28
5.2.3	Korrosion der Zahnhartgewebe	32
5.2.4	Methode zur Bestimmung der Mindestabstände zwischen Pulpa und Kavitätenboden	32
6.	Auswertung	33

		Seite
6.1	Statistische Auswertung der Meßergebnisse	36
6.1.1	Zusammenfassung der statistischen Ergebnisse	41
7.	Diskussion	42
8.	Zusammenfassung	51
9.	Anhang Tabellen und Grafiken	53
10.	Literaturverzeichnis	76

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549619_0060

1. Einleitung

Die topographischen Beziehungen zwischen approximaler Kavitätenwand und Pulpakammer sind bisher nicht untersucht.

Zur Darstellung dieser Verhältnisse wurde ein dreidimensionales System entwickelt.

Dieses System ermöglicht die verrückbare Festlegung der Lagebeziehungen von geformter Höhle und Markorgan.

Dabei interessierte insbesondere, ob an bleibenden Zähnen ohne Einengung der Pulpakammer durch Dentin der Gebrauchsperiode approximal eine Präparationstiefe möglich ist, die den Ansprüchen der Widerstands- und Retentionsform genügt.

Weiterhin wurde untersucht, ob sich die Kronenpulpa mit steigendem Lebensalter einmauert und dadurch eine großzügige Gestaltung der zervikalen Schulter bei Approximalkavitäten ohne Freilegung des Weichgewebes möglich ist.

2. Literaturübersicht zur allgemeinen und speziellen Problemstellung

1893 prägte BLACK (4) den Begriff der Widerstands- und Retentionsform und wies auf deren Bedeutung für den Erfolg einer Füllungstherapie hin. -
Um der Füllung einerseits eine genügende Stabilität gegen den Kaudruck zu geben, andererseits das Herausfallen der Füllung zu verhindern, propagierte er die Präparation einer ausreichend dimensionierten Kastenform unter Beachtung der präventiven Extension.
Die Black'schen Postulate führten in den folgenden Jahren zu heftigen Diskussionen, wobei die Gegner seiner Lehre neben der „Extension for Prevention" vor allem die überaus tiefe und breite Kastenpräparation kritisierten. (15; 28; 40; 66)
Wenn auch BLACK (4; 6) sich die Pulpatopographie stets vor Augen hielt und darum bemüht war, die Pulpa weder zu eröffnen noch zu viel schützendes Dentin zu entfernen, so läßt sich seine Präparationsmethode im ganzen betrachtet nicht als schonend bezeichnen. Dem Größenverhältnis des Pulpakavums und seiner Wände kommt dadurch eine besondere Bedeutung zu.

Erste Beschreibungen zur feineren Anatomie der Zähne wurden von CARABELLI (10) im Jahre 1844 veröffentlicht.

Er schreibt: „Was die Größe und Gestalt der Zahnhöhlen und die Länge, Weite und den Verlauf der Zahnkanäle anbelangt, so richten sich diese meistens nach der Größe und Form der Zahnkronen, ... und nach dem Alter des Subjekts. ... je jünger überdies das Subjekt ist, dem diese Organe zugehören, desto größer und weiter sind auch die Höhlen und Kanäle der Zähne."

In der Folgezeit sind Angaben zur Topographie der Pulpa nur sehr spärlich bei WEDL (67), TOMMES und HOLLAENDER (58) sowie BAUME (3) zu finden.

Mehr als vierzig Jahre nach CARABELLI brachte ARKÖVY (2) die bis dahin immer noch sehr mangelhafte Kenntnis zur Lage der Pulpakammer folgendermaßen zum Ausdruck:

„Die auf die Pulpaerkrankungen bezüglichen Untersuchungsmethoden, welche derzeit in Anwendung kommen, bestehen vorwiegend darin, daß der Arzt durch v a g e S o n d i r u n g e n im cariösen Zahne jenen Punkt zu erforschen trachtet, am welchem E m p f i n d l i c h k e i t vorhanden ist." und fährt fort:

„Da für die Form der Pulpahöhle, eigentlich für die Ausdehnung derselben, bisnun keine Maasse vorhanden sind,so lag mir die Beschaffung solcher ob."

Die von ARKÖVY durchgeführten Vermessungen beschränkten sich jedoch auf den Abstand zwischen Schneidekante bzw. Höckerspitze und Pulpa, die er mit Hilfe eines modifizierten Zeichenzirkels ertastete.

Die ermittelten Werte veröffentlichte er in einer Tabelle und empfahl dem Praktiker, die Spitze der zahnärztlichen Sonde mit einer millimetrischen Einkerbung zu versehen, um die Meßwerte auf den einzelnen Fall übertragen zu können.

Messungen der Pulpakammer selbst wurden erstmals von BÖDECKER (7) durchgeführt, der Zahnschnitte eines einzelnen Gebisses mit 32 kariesfreien Zähnen untersuchte.

Im Jahre 1900 erschien eine vielbeachtete Arbeit von SZABO (57), in der systematisch das Alter der Zähne berücksichtigt wurde. Gegenstand der Untersuchung waren der erste untere Molar und der zweite obere Prämolar. SZABO unterteilte die Zeitspanne vom 6. bis zum 50. Lebensjahr in fünf Altersstufen. Je Altersstufe wurden drei gleichartige Zähne in vestibulo-oraler Richtung zersägt und hinsichtlich des Cavum pulpae, der Dicke des Dentins und der Dicke des Schmelzes vermessen. Das Ergebnis seiner Arbeit läßt sich folgendermaßen zusammenfassen:

1.) Das Dentin nimmt vom 6. bis zum 9. Lebensjahr gleichmäßig um etwa 1/2 mm an Dicke zu.
2.) Eine seitliche Verengung des Cavum pulpae findet nur bis zum 17. Lebensjahr statt und beträgt ca. 1 mm.
3.) Die Verengung des Cavum pulpae in peripendiculärer Richtung dauert das ganze Leben hindurch an und beträgt 2 - 3 mm.

4.) Die physiologische Zunahme des Dentins vollzieht sich in jugendlichen Jahren rascher als im Alter.

In Anlehnung an SZABO veröffentlichte TRUEB (60) 1909 eine wesentlich umfangreichere Arbeit unter Berücksichtigung aller bleibender Zähne, - mit Ausnahme der dritten Molaren - und kommt in wesentlichen Punkten zu anderen Ergebnissen. Die Schlußsätze von TRUEB lauten:

„ 1.) Die physiologische Dentinbildung ist weder in horizontaler noch in vertikaler Richtung an beiden Kammerwandungen eine gleichmäßige.

2.) Die physiologische Dentinbildung dauert in horizontaler und vertikaler Richtung das ganze Leben hindurch an. Je älter ein Zahn, desto dicker sind seine Wandungen.

3.) Die Dentinbildung an den seitlichen Kammerwandungen ist in der Gegend des Zahnhalses bedeutender als in der Nähe der Kaufläche; am größten ist sie in vertikaler Richtung."

Auf die von TRUEB postulierte Prämisse, daß sich die Zahnbreiten zweier verschiedenen Perioden angehöriger Zähne so zueinander verhalten, wie die entsprechenden Breiten ihrer Pulpenkammern, wird an anderer Stelle noch eingegangen.

Ebenfalls im Jahre 1909 erscheint eine Arbeit von LOOS (32), in der er anhand photographischer Aufnahmen von Zahnschliffen auf unerwartet feine und lange Pulpenhörner aufmerksam macht und der bisherigen Ansicht, - die Pulpakammer sei lediglich ein verkleinertes Abbild des Zahnes - widerspricht.

MÜHLREITER (39) ist ebenfalls dieser Ansicht.

Ein völlig anderes Verfahren zur Darstellung der Pulpakammer wurde von PREISWERK (43) in die Zahnheilkunde eingeführt. Ausgehend von dem Bemühen, die bis dahin in der Hauptsache empirisch begründete „Amputationstheorie" von WITZEL (68) auf eine streng wissenschaftliche Grundlage zu heben, stellte er Zahnausgüsse mittels Woodmetall her (44; 45; 46).

FISCHER (16; 17; 18; 19) verfeinerte die von WITZEL eingeführte Korrosionsmethode und benutzte zur Darstellung der Pulpa Zelluloid-Acetonlösungen von steigender Konsistenz.

Erste Versuche, die Beziehung des Pulpahohlraumes am ganzen Zahn zu untersuchen machte ADLOFF (1), indem er flüssiges Metall in die Wurzelkanäle schleuderte und dann die Zähne nach der Methode von SPALTEHOLZ (53) durchsichtig machte.

FASOLI und ARLOTTA (14) versuchten durch Benutzung einer Füllmasse aus zinnober gefärbter Gelantine dem von ADLOFF beschriebenen Weg zur Erforschung der Pulpaanatomie zu folgen.
MORAL (37) füllte die Zähne mit chinesischer Tusche und hellte sie anschließend in konzentrierter Karbolsäure auf.

HESS (21) reproduzierte all diese Verfahren und stellte häufig Kunstprodukte und Fehlpräparate fest.
Eigene Untersuchungen, bei denen er roten Kautschuk in den Zahn stopfte und vulkanisierte, bestätigten jedoch die Ergebnisse seiner Vorgänger.

JUNGHENN (27) benutzte Paraffin zum Ausfüllen der Zähne und formulierte sieben Kriterien für die Herstellung von Korrosionspräparaten:

1.) Die Füllmasse darf das Dentin nicht zerstören.
2.) Die topographische Anatomie der Pulpa zum Zahnkörper muß erkennbar sein.
3.) Feinste Verzweigungen dürfen nicht verloren gehen.
4.) Der Pulpahohlraum muß sichtbar sein.
5.) Das Injektionsmittel muß alle Kanäle ausfüllen.
6.) Die Injektionsmasse muß chemisch und mechanisch widerstandsfähig sein.
7.) Der Farbstoff darf vom Dentin nicht aufgenommen werden.

In diesem Zusammenhang ist die viel später entwickelte Methode von MEYER und SCHEELE (34) erwähnenswert, die gefärbte histologische Schnitte der Wurzelpulpa von 50 µm Dicke in lückenloser Folge auf eine Fläche projezierten und nachzeichneten. Durch Übertragung dieser Zeichnungen auf Wachsplatten, die in Reihenfolge der Schnitte aufeinander gesetzt wurden, erhielten sie ein Modell der Wurzelpulpa in 45 facher Vergrößerung.
Es bleibt anzumerken, daß sich bei all den o.g. Methoden das Hauptaugenmerk auf die Verzweigungen der Wurzelpulpa richtete. Aussagen über die Kronenpulpa waren eher Nebenprodukte der Arbeit und beschränkten sich im wesentlichen auf die Feststellung, daß sie ein verkleinertes Abbild der Zahnform sei und in jungen Jahren größer dimensioniert ist als im Alter.

Erst WAGNER (65) beschäftigte sich wieder schwerpunktmäßig mit der Erforschung des koronalen Anteils der Pulpahöhle, indem er Röntgenbilder von über hundert Zähnen vermaß, deren Pulpakavum zuvor mit Quecksilber augegossen wurde. Die Vermessungen erfolgten unter einem Mikroskop in den Ebenen, die schon TRUEB (60) gewählt hatte und bestätigten dessen Ergebnisse.
LISELOTTE SCHULZE (50) setzte in ihrer 1938 veröffentlichten Dissertationsschrift die Schmelz- und Dentinstärken in Beziehung zur Kavitätenpräparation und legte die Schliffebenen an jene Stellen der Zähne, die für die Kavitätenpräparation von Bedeutung sind. Von jeder Zahngattung untersuchte sie jedoch lediglich zwei oder drei Exemplare, ohne das Alter zu berücksichtigen. Die große Streuung der ermittelten Werte veranlaßte sie zu dem Hinweis, bei jeder Präparation größte Vorsicht walten zu lassen.

Seit Beginn der vierziger Jahre wird das Problem der Topographie der Pulpakammer vorwiegend röntgenologisch abgehandelt. Inwieweit man dabei vom Röntgenbild auf die wirkliche Größe der Pulpa schließen kann wurde erstmals von FRENZEL (20 untersucht.
Er fertigte von am Patienten geröntgten Zähnen Schliffe an und verglich die Messungen am Röntgenbild mit denen des Zahnschliffes, wobei er feststellte, daß das Pulpakavum - vor allem bei den Prämolaren - keineswegs der Zahnform entspricht und im Röntgenbild stets verkleinert abgebildet wird. Die verkleinerte Abbildung der Pulpakammer führte er auf eine Überstrahlung der flachen Randzonen der Pulpa zurück.

PLISCHKA (42) geht in seiner 1958 veröffentlichten Arbeit auf diesen Punkt zwar nicht ein, beschreibt aber den Fall eines aus prothetischen Gründen extrahierten oberen mittleren Schneidezahnes, bei dem nach einer Quecksilberkontrastfüllung ein vorher röntgenologisch nicht sichtbares mesial liegendes Pulpahorn zutage trat.
Eine annähernd größengetreue Abbildung der Pulpahöhle hält ELSPASS (12) bei Verwendung der Paralleltechnik und den von ihm angegebenen Abständen von Fokus, Objekt und Film für möglich.
Spätere Untersuchungen von HOPPE (22) ergaben jedoch, daß die auf den Röntgenaufnahmen dargestellten Ausmaße der Pulpakammer nur bedingt auf die Verhältnisse am Zahn selbst zu übertragen sind und approximale Begrenzungen der Pulpakammer oft durch röntgendichte Schmelzschichten verdeckt werden.

JUNG (25) befaßte sich ebenfalls mit dieser Thematik und ermittelte eine um durchschnittlich 23 % verkleinerte Darstellung der Pulpakammer im Röntgenbild.

In etwa parallel zu den röntgenologischen Untersuchungsmethoden fand durch die Entwicklung der Kunststoffe ein neues Material Eingang in die Korrosionstechnik, das die Herstellung äußerst robuster und haltbarer Modelle ermöglichte. SCHUMMER (51) benutzte 1935 als erster einen injizierbaren Kunststoff (Plastoid, eine polimerisierbare Vinylverbindung) zur Herstellung von Gefäßausgüssen verschiedener Organe.

Die Brauchbarkeit des Methylmethacrylsäureesters für Ausgußpräparate wurde bereits 1950 von PFALTZ, RICHTER und TOMASCH (41) festgestellt.
1966 benutzte JOANNOU (24) erstmals einen spritzbaren Polymethylmethacrylat-Kunststoff zur Darstellung des Pulpakavums menschlicher Zähne. Seine Untersuchungen ergaben, daß der von ihm benutzte Kunststoff „Piacryl ASM" Kanal-Lumina von 0,1 mm Ø auszufließen und einwandfrei darzustellen vermochte, nachdem der polimere Pulveranteil in einer Schlagmühle staubfein zerkleinert wurde.

3. Vorversuche

Die in der Literatur gesammelten Erfahrungen zur Herstellung von Hohlraumpräparaten legten es nahe, auch für diese Untersuchung einen Kunststoff zu verwenden.
Für die Darstellung der Lagebeziehungen zwischen Kavität und Pulpakammer wurde das Palavit G ausgewählt. Dieser PMMA-Kunststoff ist speziell für die Herstellung von Gußmodellen entwickelt worden.
In Vorversuchen mußte jedoch geklärt werden, auf welche Weise dieses Selbstpolymerisat in die Zahnmarkhöhle einzubringen ist, um einen wirklichkeitsgetreuen und blasenfreien Ausguß zu erhalten.

3.1 Das Palavit G und dessen Formverhalten

Beim Palavit G handelt es sich um einen kaltpolimerisierenden Methacrylat-Kunststoff, der von der Firma Kulzer zur Herstellung von Gußmodellen in der Dentaltechnik vertrieben wird. Wie fast alle in der Zahnheilkunde verwandten PMMA-Kunststoffe wird das Palavit G aus monomerer Flüssigkeit und polimerem Pulver angerührt. Die Selbsthärtung des Methacrylats wird durch eine Redoxkatalyse angeregt, die auf der Reaktion zwischen Benzoylperoxid und einem tertiären Amin beruht. Da von der Firma Kulzer keine genaue Zusammensetzung ihres Produktes zu erfahren war, sei hier auf die Analyse von BRAUER (9) hingewiesen, wonach sich die Flüssigkeit schnellhärtender PMMA-Kunststoffe zusammensetzt aus:

Methylmethacrylat	97,4 %
Dimethyl-p-toluidin	2,62 %
Hydrochinon	0,0076 %

und das Pulver aus:

Polymethylmethacrylat	95,5 %
Polystyrol	2,3 %
Benzoylperoxid	1,94 %
Restmonomer	0,28 %

Über das Formverhalten des Palavit G liegen verschiedene Untersuchungen vor.

Bei chemoplastischer Polimerisation kommt es durch enges Aneinanderrücken der Einzelmoleküle zu einer Volumenkontraktion, die nach UHLIG (61) zwischen fünf und sieben Volumenprozent beträgt.

Genauere Untersuchungen von LENZ (31) zeigen, daß die Polimerisationsschrumpfung beim Palavit G innerhalb von fünfzehn Minuten erfolgt und etwa 5,5 % erreicht. Danach geht der Volumenschwund etwas zurück und nimmt von einer Stunde nach der Verarbeitung an wieder geringfügig zu und beträgt nach achtundvierzig Stunden beim Palavit G sieben Prozent. Geht man wie LENZ (31) davon aus, daß die lineare Kontraktion etwa 1/3 des Volumenschwundes beträgt, so ergibt sich für Palavit G eine lineare Schrumpfung von ca. 2 %.

Daß diese Ergebnisse des Volumenverhaltens nicht ohne weiteres auf das Formverhalten von Gußobjekten aus Palavit G übertragbar sind, beweist LENZ (31) im zweiten Teil seiner Arbeit. Er stellt hier am Ausguß einer metallenen Inlaykavität eine wesentlich geringere Spaltbildung fest, als nach dem rechnerischen Volumenschwund zu erwarten gewesen wäre.

REITHER (47) führte ähnliche Versuche durch und ermittelte für gegossene Palavit G-Modelle relative Dimensionsunterschiede zum Prüfkörper von nur 0,18 %.

Beide Autoren führen den Widerspruch zwischen der zu erwartenden und der tatsächlich zu beobachtenden Schrumpfung auf die Haftung des Kunststoffes an den Wänden des Prüfkörpers zurück. Diese Haftung wirkt der Schwindung entgegen und führt dazu, daß keine gleichmäßige Schrumpfung zum Massenzentrum hin erfolgt, sondern der Schwund von der freien Modelloberfläche her überwiegt.
Die Beobachtung von UHLIG (61), daß es bei der Kunststoffpolimerisation in einer geschlossenen rauhwandigen Hohlform zur Entstehung von Schwundblasen kommt ohne das Material von den Wänden zu lösen, stützt die obige Erklärung.

Die Genauigkeit von Gußmodellen aus Autopolimerisaten kann noch gesteigert werden, wenn während der Polimerisation Druck ausgeübt wird (UHLIG (61)). Des weiteren läßt sich durch Zugabe eines anorganischen Füllstoffes die Polimerisationsschrumpfung verringern (11; 64).
Neben der Polimerisationsschrumpfung erfahren PMMA-Kunststoffe im feuchten Milieu eine entgegengesetzte Volumenveränderung. Durch Wasseraufnahme quillt der Kunststoff. Dadurch kann die Polimerisationsschrumpfung teilweise wieder ausgeglichen werden (64). Die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme ist dabei vom Oberflächen-Volumenverhältnis abhängig und erreicht bei durch Normung vorgegebenen dünnen, scheibenförmigen Proben mit 3 bis 4,5 Volumenprozent eine Sättigung nach drei bis fünf Tagen (64).

In der vorliegenden Arbeit dürfte sich dieser Faktor aufgrund des Oberflächen-Volumenverhältnisses der Proben und der geringen Kontaktzeit nach Auflösung der Zähne nur geringfügig im Sinne eines Ausgleichs der Polimerisationsschrumpfung bemerkbar machen.

3.2 Eigene Untersuchungen zum Ausgußverfahren mit Palavit G

Die möglichst vollständige Darstellung der nur von apikal zugänglichen Pulpakammer ist für die vorliegende Arbeit von entscheidender Bedeutung. Es wurden daher verschiedene Verfahren zur Hohlraumdarstellung erprobt. Als Kriterium für die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Verfahren diente die Füllbarkeit einer an der Spitze zugeschweißten Glaspipette von 100 mm Länge und 1 mm Durchmesser.

3.2.1. Versuch Nr. 1: Spritzmethode nach JOANNOU

Entsprechend der Methode von JOANNOU (24) wurde eine gekürzte Injektionskanüle mit einer Polyamid-Dichtung versehen und der im Verhältnis 6 : 3 (Pulver : Flüssigkeit) ++ angerührte Kunststoff mittels einer 2 ml Einmalspritze in die Glaspipette gepreßt.

++Für alle Proben wurde das von der Firma Kulzer empfohlene Verhältnis von 5 : 3 (Pulver : Flüssigkeit) leicht zugunsten des Pulveranteils verändert, um die Polimerisationsschrumpfung weiter zu reduzieren. Eine merkbare Einbuße der Fließeigenschaften wurde dadurch nicht verursacht.

Es stellte sich heraus, daß der Kunststoff zwar bis zu 60 mm tief in das Röhrchen gepreßt werden konnte, im Augenblick des Entfernens der Injektionsspritze jedoch schlagartig auf etwa 40 mm zurückgedrängt wurde. Auf den verbliebenen 40 mm war gleichzeitig die Bildung mehrerer großer Luftblasen zu beobachten. (Abb. 1 linkes Röhrchen)

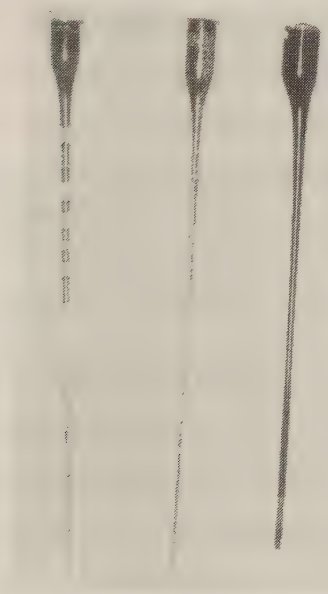


Abb. 1: Glaspipetten, entsprechend den Versuchsbeschreibungen 1, 2 und 3 mit Palavit G gefüllt.

Ein befriedigendes Ergebnis dieser Methode war somit nur bei Aufrechterhaltung des Preßdrucks während der gesamten Polimerisationszeit zu erwarten, was einen erheblichen technischen Aufwand bedeutet hätte.

3.2.2. Versuch Nr. 2: Füllen der Glaspipette mit der Handschleuder

Hierzu wurde das Palavit G mit einer Einmalspritze in den Einfüllstutzen der Glaspipette gespritzt und nach Fixierung der Pipette in einer Haltevorrichtung mit der Handschleuder geschleudert. Danach wurde die Probe im Drucktopf bei 2,5 bar fünfzehn Minuten lang ausgehärtet. Die anschließende Begutachtung ließ eine zwar dünne, aber vollständige Bedeckung der Kappilarwand mit Kunststoff bis in eine Tiefe von ca. 65 mm erkennen.
Ein vollständig ausgefülltes Lumen war - ebenso wie im ersten Versuch - nur bis zu einer Tiefe von ca. 40 mm festzustellen. Die im Versuch Nr. 1 zu beobachtende Luftblasenbildung trat hier jedoch nicht auf, so daß - abgesehen von einigen zentral liegenden Verdampfungsporen - eine homogene Kunststoffsäule von etwa 40 mm Länge vorlag. (Abb. 1 Mittleres Röhrchen)

3.2.3. Versuch Nr. 3: Schleuderverfahren unter Zugabe einer Eisenfeilung

Da die beabsichtigte Kontrolle des vollständigen Ausfließens der Pulpakammer ohne Zerstörung des Zahnes nur röntgenologisch möglich ist, bestand die Notwendigkeit zur Beimischung eines Kontrastmittels.

Versuche mit Bariumsulfat erwiesen sich dabei als zu wenig kontrastreich. Erst die Beigabe einer 10 µm feinen Eisenfeilung brachte den gewünschten Erfolg.
Mit dem Kunststoff - Eisengemisch im Verhältnis 6 : 3 : 1 (Pulver : Flüssigkeit : Eisenfeilung) wurde wie in Versuch Nr. 2 verfahren. Es stellte sich heraus, daß durch die Beimischung der „schweren", nicht gelösten Eisenpartikel ein wesentlich besseres Ausfließen der Glaspipette erreicht wurde.
Das Lumen der Pipette wurde bis in eine Tiefe von etwa 65 mm vollständig ausgefüllt. Die Benetzung der Kappilarwand reichte sogar bis in eine Tiefe von 85 mm. (Abb. 1, rechtes Röhrchen)

Die Beinischung der Eisenfeile ermöglicht also nicht nur einen ausgezeichneten Röntgenkontrast, sondern sie garantiert auch die wirklichkeitsgetreue Darstellung der Pulpakammer.

4. Verhalten des Kunststoff-Eisengemisches gegenüber HCl

Da die Korrosion der Zahnhartgewebe in HCl erfolgen sollte, wurden zur Überprüfung der Säureresistenz des Kunststoff-Eisengemisches genormte Reagenzgläser von 10 mm Ø nach der im Versuch Nr. 3 beschriebenen Methode gefüllt.
Beim Anmischen des Kunststoff - Eisengemisches war darauf zu achten, daß zunächst die Eisenfeilung in die Monomerflüssigkeit eingestreut wird, um so eine vollständige Benetzung der Eisenpartikel zu gewährleisten. Erst dann wurde das Pulver zugegeben.

Durch den Schleudervorgang kam es im unteren Drittel des Reagenzglases zu einer erhöhten Eisenkonzentration, was leicht an der stärkeren Schwarzfärbung zu erkennen war.
Nach fünfzehnminütiger Aushärtung der Proben im Drucktopf wurde das Reagenzglas zerschlagen und das untere Drittel des erhaltenen Prüfkörpers für achtundvierzig Stunden in 25 %iger HCl aufbewahrt. Bei der anschließenden Untersuchung im Auflichtmikroskop konnten keine Auflösungserscheinungen festgestellt werden.

5. Material und Methode

5.1 Material

Im Rahmen dieser Arbeit wurden 223 erste und zweite Prämolaren des Ober- und Unterkiefers untersucht, die an der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der FU-Berlin sowie in verschiedenen Berliner Zahnarztpraxen gesammelt wurden.
Sie wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

A) kariesfrei und eindeutig nicht abgeschlossenes Wurzelwachstum
oder
B) kariesfrei; keine Zahnhalsdefekte; abgeschlossenes Wurzelwachstum; deutliche Abrasionen.

Die Beurteilung der Abrasionsgrade in Gruppe B erfolgte nach der Einteilung von MATHIS (33).

Zur Auswertung wurden Zähne mit den Abrasionsgraden

I Facetten im Schmelz
II Schlifffläche bis ins Dentin
III Höcker eingeebnet herangezogen.

Unter I fanden nur die Zähne Berücksichtigung, deren Schliffacetten größer als 2 mm waren. Die Zähne mit Abrasionsgrad I und II wurden gemeinsam untersucht, die mit Abrasionsgrad III im Versuchsprotokoll gesondert gekennzeichnet.

Von den 223 Zähnen entfielen 111 auf die Gruppe A (nicht abgeschlossenes Wurzelwachstum) und 112 auf die Gruppe B (Zähne mit Abrasionen).
Für die vorliegende Untersuchung ist es unwichtig, daß nach der Kariesstatistik Approximalkaries an Prämolaren bis zum 13. Lebensjahr nicht zu erwarten ist. Diese Zahngruppen wurden gebildet, um die Anlagerung von Dentin der Gebrauchsperiode nach der Zahnentwicklung studieren zu können.

5.2 Methode

Die Zähne wurden innerhalb der jeweiligen Gruppe entsprechend ihrer Stellung im Kiefer sortiert und die mesio-distale Kronenbreite - in Höhe des Kontaktpunktes - mittels einer Schieblehre gemessen.
In die Zähne sollten doppelapproximale Kavitäten entsprechend der Black'schen Regel präpariert werden. Zur Festlegung der Umrißform, bzw. der präventiven Extensionsform wurden unter Verwendung eines Mittelwertsocklers Wachsmodelle hergestellt, in denen sich neben dem natürlichen Zahn zwei Kunststoffzähne befanden.

Nach Darstellung der Umrißform mit einem kopfgerundeten Diamantschleifer - ∅ 0,8 mm - wurde der natürliche Zahn aus dem Modell entfernt, die mesio-buccale Zahnfläche durch eine Bohrung markiert und die approximale Stufe der Kavität mit einem walzenförmigen Schleifkörper von 1,2 mm Durchmesser an die Schmelz-Zementgrenze verlegt und hier 1,2 mm tief im Dentin verankert.

Eine Kontrolle sowohl der Präparationstiefe als auch der Rechtwinkligkeit der pulpaachsialen Wand ermöglichte eine Meßvorrichtung, die es gestattete, den Zahn horizontal entsprechend seiner Achse zu fixieren. (Abb. 2)

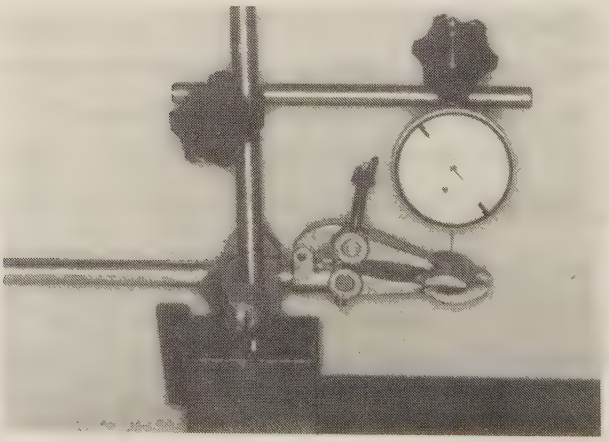


Abb. 2: Meßvorrichtung zur Kontrolle der Präparationstiefe

Die zervikale Stufe wurde jeweils lateral und in der Mitte vermessen. Die Rechtwinkligkeit der pulpaachsialen Wand ließ sich durch eine horizontale Drehbewegung des Fixierungsarmes der Meßapparatur kontrollieren, wodurch sich für den Fühler der Meßuhr - ausgehend von einem lateralen Stufenmeßpunkt - eine diagonale Meßstrecke ergab.
Durch Präparationsfehler kam es bei einigen Zähnen zur Überschreitung der approximalen Kavitätentiefe. In diesen Fällen wurde die Stufenbreite auf 1,3 mm erhöht.
Die entsprechenden Zähne sind in den Tabellen 1 bis 16 durch ein X gekennzeichnet.
Vierzig Zähne wurden mehrfach vermessen. Der Mittelwert der Differenzen zwischen den Messungen betrug 0,04 $\pm$ 0,01 mm.

Nach dem Präparieren der Kavitäten wurde die Zahnwurzel mit einer diamantierten Scheibe abgetrennt. Hierbei war darauf zu achten, daß die Trennstelle mindestens 4 mm von der zervikalen Kavitätengrenze entfernt liegt, da es sonst häufig zu Längsfrakturen der präparierten Zahnkronen kommt.
Anschließend erfolgte die Auflösung der organischen Pulpareste.

5.2.1 Auflösung der Kronenpulpa

Zur Auflösung der Kronenpulpa wurden die Zähne einzeln in einem gekennzeichneten Kunststoffröhrchen mit 12,5 %igem Natrium Hypochlorid überschichtet und anschließend zur Vermeidung von Luftblasen zwanzig Minuten lang auf einem Rüttler geschüttelt.

Nach zwölf Stunden bei 20 - 25° C wurde das Natrium Hypochlorid gewechselt und die Proben erneut für zwanzig Minuten geschüttelt. Weitere zwölf Stunden später war der Auflösungsprozeß abgeschlossen und die Zähne konnten nun unter fließendem Wasser gewaschen und zunächst mit dem Luftbläser und dann im Wärmeofen bei 40° C getrocknet werden.
Bei Vorversuchen waren einige der so vorbehandelten Zähne aufgespalten und eingehend untersucht worden. Dabei konnten keinerlei Pulpareste mehr festgestellt werden, so daß wesentlich kompliziertere Mazerationsverfahren, wie sie bei PREISWERK (44), FISCHER (18) und HESS(21) beschrieben sind, nicht erforderlich waren.

5.2.2 Herstellung der Hohlraumpräparate

Das Ausgießen der Pulpakammer mit Kunststoff erforderte zunächst das senkrechte Einbetten des Zahnes in ein Blöckchen aus Silicon-Abformmaterial und zwar dergestalt, daß das Abdruckmaterial um den Eingang zur Pulpakammer einen kleinen Trichter zur Aufnahme des Kunststoffes bildete.

Das im Verhältnis 6 : 3 : 1 angemischte Palavit G - Eisengemisch wurde nun in eine 5 ml Einmalspritze aufgezogen und mittels einer 0,9 x 38 mm starken Kanüle mit Überschuß in die Pulpakammer eingebracht.

Die Verwendung einer Kanüle mit mindestens 0,9 mm Innendurchmesser empfahl sich, da hiermit pro Arbeitsgang in vier bis fünf Zähne Kunststoff eingefüllt werden konnte. Kanülen mit kleinerem Durchmesser verstopften aufgrund der durch den Preßdruck verursachten Viskositätsänderungen schon nach Füllung eines Zahnes.

Die Proben wurden dann in der Handschleuder kräftig geschleudert und im Drucktopf bei 2,5 bar fünfzehn Minuten ausgehärtet. Anschließend konnten die Zähne aus dem Siliconblöckchen herausgeschnitten und der trichterförmige Kunststoffüberschuß mit der Fräse entfernt werden.

In vierzig Fällen erfolgte eine röntgenologische Kontrolle der Pulpaausgüsse. (Abb. 3 und 4)

Da die Röntgenbilder in jedem Fall ein völliges Ausfließen der Pulpakammer bestätigten, wurde bei den weiteren Ausgüssen auf diese Kontrolle verzichtet.

Abb. 3: Röntgenbild in mesio-distaler Richtung vor und nach dem Ausgießen der Pulpakammer.

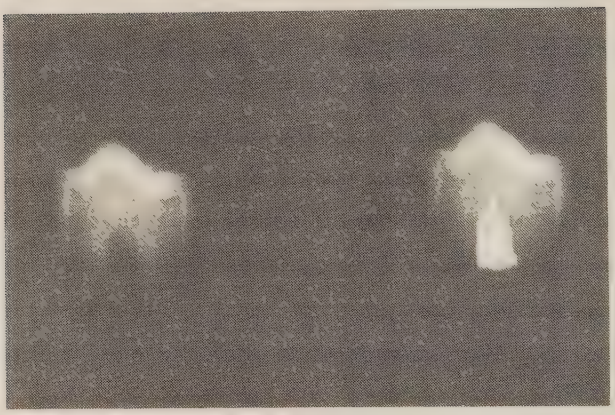


Abb. 4: Röntgenbild in vestibulo-oraler Richtung vor und nach dem Ausgießen der Pulpakammer

Um die Kavität in richtiger Relation zur Pulpa darzustellen, mußte nun zwischen mesio-approximaler Kavitätenwand und Pulpaausguß ein Bügel aus leicht biegsamen Zinndraht (Ø 2 mm) gespannt und mit Klebewachs fixiert werden. Die Kavität wurde sodann oberflächlich mit rosa Wachs verschlossen und die mit dem Bügel versehene mesiale Hälfte des Zahnes erneut in Silaplast eingebettet.

Nach dem Aushärten des Abdrucks konnte der nur zur Hälfte fixierte Zahn mit einem Wachsmesser leicht entfernt werden. Der Zinndraht ließ sich mit einer Spitzzange herausziehen. In die so erhaltene Negativform wurde auf dem Rüttler - unter Zuhilfenahme einer Einmalspritze - Kunststoff gefüllt und der vom Wachs gereinigte Zahn reponiert.

Nachdem auch die freiliegende distale Kavität mit Kunststoff gefüllt war, erfolgte ein erneutes Aushärten im Drucktopf.
Danach wurde der Rohling aus der Silikonform geschält und überschüssige Kunststoffanteile entfernt.
Der nunmehr für die Korrosionsbehandlung vorbereitete Zahn ist in Abb. 5 dargestellt.

Abb. 5: Für die Korrosionsbehandlung vorbereiteter Zahn.

5.2.3 Korrosion der Zahnhartgewebe

Die absolute Säurerestistenz des Palavit G-Eisengemisches ermöglichte die Korrosion der Zähne in Salzsäure. Hierzu kamen die Zähne einzeln in die bereits zur Auflösung der Pulpa benutzten Kunststoffröhrchen, in die nun 25 %ige HCl gefüllt wurde.
Das völlige Auflösen des Zahnes erfolgte bei Zimmertemperatur innerhalb von achtundvierzig Stunden. Die verbliebenen Kunststoffausgüsse wurden sodann gewässert und mit Natriumbicarbonat neutralisiert. Ein auf den Präparaten verbliebener weißer Belag organischer Dentinbestandteile konnte mit dem Spraystrahl leicht entfernt werden.

5.2.4 Meßmethode zur Bestimmung der Mindestabstände zwischen Pulpa und Kavitätenboden

An dem erhaltenen Kunststoffmodell (Abb. 6) war die Relation von Kronenpulpa zur Kavität durch den Palavitbügel starr fixiert. Durch Metallmeßstreifen von 0,05 bis 1,50 mm Dicke ließ sich der Minimalabstand zwischen Kavitätenwand und Pulpa ermitteln. Als Meßwert wurde stets die Streifendicke genommen, die als letzte ohne zu klemmen zwischen Pulpa und approximaler Kavitätenwand hindurchgezogen werden konnte. Diese Messungen wurden stichprobenartig von verschiedenen Personen wiederholt, wobei sich stets gleiche Werte ergaben.
Der Meßfehler beträgt somit weniger als 0,05 mm.

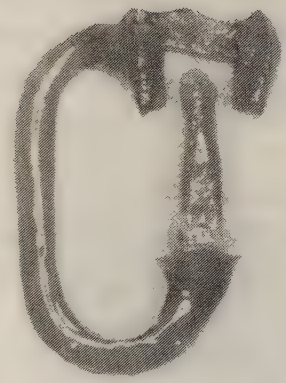


Abb. 6: Pulpa- und Kavitätenausguß in natürlicher Relation zueinander fixiert.

6. Auswertung

Die Abstandsmessung zwischen Pulpa und approximaler Kavitätenwand konnte an 206 der insgesamt 223 Zähne durchgeführt werden. Sechs Zähne der Gruppe A und fünf Zähne der Gruppe B frakturierten beim Abtrennen der Wurzel. Weitere vier Zähne der Gruppe B konnten wegen eines völlig obliterierten Pulpakavums nicht vermessen werden.

In zwei Fällen lag die Pulpa unterhalb der Schmelz-Zementgrenze.

An drei Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum (Tabelle 3; 5; 6) ließ sich eine makroskopisch sichtbare atypische Ausbuchtung der Pulpakammer beobachten, die bisher weder bei der Auswertung von Schnittserien, noch bei röntgenologischen Untersuchungen erwähnt wurden. (Abb. 7)

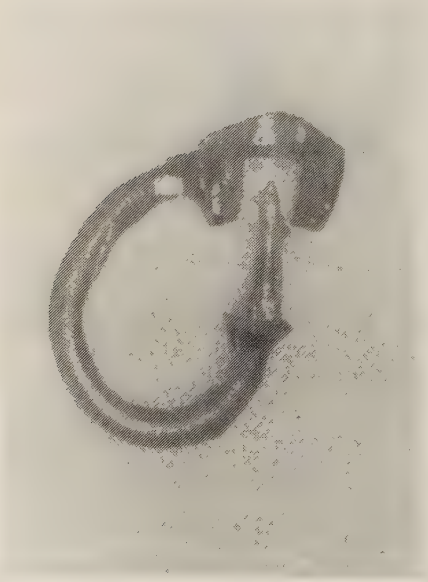


Abb. 7: Ausguß eines ersten oberen Prämolaren mit atypischen dornartigen Ausbuchtungen der Pulpakammer.

Wandständige Dentikel der koronalen Pulpakammer traten vereinzelt in beiden Untersuchungsgruppen auf und sind in den Tabellen 1 bis 16 entsprechend gekennzeichnet.
Über die mittleren Zahnbreiten der untersuchten Zähne, sowie deren Minimal- und Maximalwerte geben Tabelle 17 und 18 auf S. 68 Auskunft. Um den Vergleich dieser Werte mit den Tabellen anderer Autoren zu erleichtern, wurden die Prämolaren der linken und der rechten Kieferhälfte jeweils zusammengefaßt.

Augenfällig sind die geringeren Zahnbreiten der Gruppe B, die auch bei einem Vergleich der Grafiken 1 und 2 durch eine Linksverschiebung der Werte zum Ausdruck kommt.

Bei der Präparation der Kavitäten wurde in keinem Fall die Pulpa eröffnet. Der geringste gemessene Abstand zwischen Pulpa und approximaler Kavitätenwand betrug 0,25 mm und wurde in der Gruppe A an einem zweiten oberen Prämolaren gemessen, der mit einem Durchmesser von 7,6 mm um 0,32 mm über der mittleren Zahnbreite lag. In Gruppe B ließ sich dieser Wert an zwei Zähnen beobachten. Bei diesen Zähnen handelte es sich ebenfalls um den zweiten oberen Prämolaren, wobei der eine mit einem Durchmesser von 6,4 mm um 0,05 mm unter und der andere mit 6,6 mm um 0,15 mm über der mittleren Zahnbreite dieser Gruppe lag. (Grafik 1 und 2, sowie Tabelle 2 und 10)

Der größte Abstand zur Pulpa betrug 1,25 mm und konnte in Gruppe B zweimal an einem unteren zweiten Prämolaren festgestellt werden (Tabelle 16). Die zugehörigen Zahnbreiten lagen in beiden Fällen oberhalb der mittleren Zahnbreite.

In Gruppe A betrug der größte Abstand zur Pulpa 1,15 mm, gemessen an einem ersten oberen Prämolaren, dessen Zahndurchmesser 0,12 mm unter der mittleren Zahnbreite lag. Bei den Zähnen mit der geringsten Zahnbreite betrug der Minimalabstand zur Pulpa in der Gruppe A 0,4 mm und in der Gruppe B 0,35 mm.
Abgesehen von wenigen Ausnahmen war der Abstand zwischen mesialer und distaler Kavitätenwand zur Pulpa ungleich.

In Tabelle 1 bis 16 sind die Zahnbreiten und die dazugehörigen Abstände zwischen Pulpa und Kavität für jeden Zahn einzeln aufgeführt.
Die Grafiken 1 und 2 zeigen die Gesamtverteilung und die Variationsbreite der Meßwerte für Gruppe A und B in Abhängigkeit von der Zahnbreite.

6.1 Statistische Auswertung der Meßergebnisse

Um festzustellen, ob die Zahnbreite Rückschlüsse auf die maximal mögliche Präparationstiefe zuläßt, wurde für die Wertepaare „Zahnbreite - mesialer bzw. distaler Abstand zur Pulpa" die lineare Regression berechnet.
Diese Untersuchung geht von der Annahme eines linearen Zusammenhangs der Wertepaare aus, was sich in einem rechtwinkligen Koordinatensystem geometrisch als Gerade entsprechend der allgemeinen Form

$$y = a + b \cdot x$$

interpretieren läßt.

Da nicht zu erwarten ist, daß alle Meßwerte exakt auf einer Geraden liegen, sondern mehr oder weniger streuen, beziehen sich die Koeffizienten a und b auf eine „mittlere Gerade". Die Maßzahl der Streuung um diese Gerade wird als Regressionskoeffizient r bezeichnet. Der Regressionskoeffizient ist also Ausdruck der Linearität der Wertepaare. Er kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen, wobei das Vorzeichen nur die Richtung der Geradensteigung angibt. Je näher r an den Wert $\pm$ 1 heranreicht, umso strenger ist der lineare Zusammenhang der gemessenen Wertepaare.
Es ist üblich, erst bei einem größeren Regressionskoeffizienten als 0,71 von einem linearen Zusammenhang zu sprechen. Bei diesem Wert ($r^2 = 0,50$) wird etwa die Hälfte der Meßpunkte durch eine Gerade repräsentiert.

Die Berechnung der Regressionskoeffizienten sowie der Koeffizienten a und b wurde mit Hilfe eines Wang-Computers im Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation der Freien Universität Berlin durchgeführt.

Die errechneten Werte sind im einzelnen in Tabelle 19 auf S. 69 des Anhangs wiedergegeben.

Es ergab sich nur in einem Fall, beim ersten oberen Prämolaren der Gruppe B für den mesioapproximalen Abstand zur Pulpa, ein r von 0,71. Alle anderen Werte lagen erheblich niedriger, so daß die Vermutung einer linearen Abhängigkeit zwischen Zahnbreite und Pulpaabstand zu verwerfen ist.

Ferner ergaben die vom Computer ausgedruckten Punktediagramme der Meßwerte keinen Anhaltspunkt für die Vermutung einer nicht linearen Abhängigkeit von Zahnbreite und Approximalabstand zur Pulpa, so daß auf weitergehende statistische Untersuchungen verzichtet wurde.

Als nächstes stellte sich die Frage nach einer möglichen Präferenz für einen größeren mesialen oder distalen Abstand zur Pulpa. Hierzu wurden die Approximalabstände zur Pulpa mit Hilfe des Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen miteinander verglichen. Bei diesem Test handelt es sich um ein verteilungsunabhängiges Prüfverfahren, das mit einer Effizienz von etwa 95 % zu den schärfsten parameterfreien Verfahren gehört.
Für die Berechnung der positiven und negativen Rangsummen, sowie für die Ermittlung der Irrtumswahrscheinlichkeiten existiert am Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation der Freien Universität Berlin ein Computerprogramm.
Zunächst wurden die mesio-distalen Abstände aller Oberkiefer- bzw. Unterkiefer-Prämolaren - innerhalb der jeweiligen Gruppe - miteinander verglichen. Dabei ergab sich für die Oberkiefer-Prämolaren der Gruppe A ein signifikant größerer Mesialabstand zwischen Kavitätenboden und Pulpa ($p < 0{,}0001$). Bei den Unterkiefer-Prämolaren dieser Gruppe verhielt es sich genau umgekehrt, hier war der distale Abstand zur Pulpa signifikant größer ($p < 0{,}001$).
In der Gruppe B waren sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer die distalen Abstände zur Pulpa größer ($p < 0{,}001$).

Um zu ermitteln, ob sich die ersten und die zweiten Prämolaren hinsichtlich dieser Fragestellung gleich verhalten, wurde in einem weiteren Rechenschritt das Wilcoxon-Verfahren jeweils für die ersten und zweiten Prämolaren von Oberkiefer und Unterkiefer getrennt durchgeführt. Dies war möglich, da der Wilcoxon-Test auch für kleine Stichproben genügend Schärfe besitzt.
Eine Ungenauigkeit des Tests muß dabei jedoch berücksichtigt werden. Besteht zwischen einzelnen Wertepaaren kein Unterschied, d.h. ist der mesiale und der distale Abstand zur Pulpa gleich, werden diese Paare von der Berechnung ausgeschlossen. Dies kann bei kleinen Stichproben mit hohem Anteil gleicher Paare zu Fehleinschätzungen führen, da dieser auf Gleichheit der Paargruppen deutende Faktor nicht in die Berechnung eingeht. Bei der Interpretation der vorliegenden Ergebnisse wurde dies entsprechend berücksichtigt.

Es stellte sich heraus, daß die Behauptung eines größeren mesialen Abstandes zur Pulpa bei den Oberkiefer-Prämolaren der Gruppe A nur für den ersten oberen Prämolaren aufrecht erhalten werden kann ($p < 0{,}0001$). Für den zweiten oberen Prämolaren dieser Gruppe ergab sich zwar auch eine höhere Rangsumme für den mesialen Abstand zur Pulpa, die Irrtumswahrscheinlichkeit lag hier aber über 5 % ($p > 0{,}05$).

Im Unterkiefer war der größere distale Abstand sowohl für den ersten ($p \leq 0{,}05$) als auch für den zweiten Prämolaren ($p < 0{,}0001$) signifikant.

In der Gruppe B ließ sich ebenfalls für den ersten oberen Prämolaren eine Signifikanz feststellen ($p \leq 0,01$). Diese muß jedoch relativiert werden, da von siebzehn eingegebenen Wertepaaren drei bei der Berechnung nicht berücksichtigt wurden ($D = 0$).
Für die Unterkiefer-Prämolaren sind die Ergebnisse wiederum eindeutiger. Sowohl bei den ersten als auch bei den zweiten Prämolaren war der distale Abstand zwischen Pulpa und Kavitätenboden signifikant größer als der mesiale Abstand.

Die einzelnen Werte sind in Tabelle 20 auf S. 70 dargestellt.

Von besonderem Interesse war es, eine möglicherweise altersbedingte Veränderung der Meßwerte zu ermitteln. Hierzu wurden die gemessenen Pulpa-Kavitätenboden-Abstände der Gruppe A mit denen der Gruppe B verglichen. Dies erfolgte mit Hilfe des Mann-Whitney-Tests (Wilcoxon-Test für unabhängige Stichproben), der ebenfalls verteilungsunabhängig ist und nicht die Meßwerte selbst, sondern ihre Rangplätze für die Rechnung benutzt.
In der ersten Rechenoperation wurden zunächst alle Mesial- und Distalabstände der Gruppe A mit denen der Gruppe B verglichen. Dabei stellte sich heraus, daß bei den Zähnen mit Abrasionen der distale Abstand zur Pulpa signifikant größer ist, als bei den Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum ($p = 0,0005$). Für den Mesialabstand zur Pulpa ergab sich hingegen kein signifikanter Unterschied.

Dieses statistische Ergebnis, das den Augenschein einer generellen distoapproximalen Dentinapposition erweckt, kann jedoch bei genauerer Betrachtung nicht aufrecht erhalten werden. Vergleicht man nämlich in einem weiteren Rechenschritt die distalen Approximalabstände der einzelnen Zahntypen der Gruppe A mit denen der Gruppe B, so ergibt sich zwar durchweg ein höherer Medianwert für die Zähne der Gruppe B, statistisch gesichert ist dies jedoch nur für den ersten unteren Prämolaren ($p \leq 0{,}01$).

Die Ergebnisse dieses Tests sind im einzelnen in Tabelle 21 und 22 auf S. 71 wiedergegeben.

6.1.1 Zusammenfassung der statistischen Ergebnisse

a) Die Zahnbreite erlaubt keine Rückschlüsse auf die maximal mögliche Präparationstiefe.

b) Bei den Unterkiefer-Prämolaren ist sowohl in der Gruppe A als auch in der Gruppe B distal ein größerer Abstand zur Pulpa zu erwarten. Für die Oberkiefer-Zähne läßt sich eine Aussage nur für den ersten Prämolaren der Gruppe A machen. Hier ist der mesiale Abstand zur Pulpa größer.

c) Eine physiologische Dentinapposition mit zunehmenden Zahnalter ist eher distoapproximal als mesioapproximal zu erwarten. Statistisch gesichert ist diese Annahme jedoch nur für den ersten unteren Prämolaren.

7. Diskussion

Alle bisherigen Erkenntnisse über die Beziehung der Pulpa zur Kavitätenpräparation beruhen auf ein- oder zweidimensionalen Untersuchungsmethoden anhand von Schnittserien oder Röntgenaufnahmen. (12; 30; 32; 50; 54; 62)

Bei der Schnittechnik ergibt sich die Problematik, nicht zu wissen, ob die Schnittebene tatsächlich in Höhe der größten Ausdehnung der Kronenpulpa liegt. Da zudem nur ein isolierter Meßwert ohne Beziehung zur Zahnkrone und zur Kronenachse anfällt, wird eine hohe Anforderung an die räumliche Vorstellungskraft des Betrachters gestellt.

Bei der Auswertung von Röntgenbildern ist zwar der Bezug zur Kronenform gegeben, jedoch kommt es hier zu Überstrahlungen peripherer Pulpabereiche, die zu Fehlinterpretationen der tatsächlichen Gegebenheiten führen (22; 25; 26).

Die schon von WAGNER (65) und später von STAEGEMANN und WENZEL (54) durchgeführte Quecksilber-Kontrastfüllung der Pulpakammer ermöglichte zwar eine wesentlich bessere röntgenologische Darstellung der Pulpakammer, schließt jedoch die Gefahr von Projektionsfehlern nicht aus und konnte die wichtige Kronenwölbung in vestibulo-oraler Richtung nicht erfassen. Gerade diese in Strahlenrichtung liegende Dimension ist aber für die Kavitätenpräparation wichtig.

Das Palavit G-Eisengemisch ist nach der in dieser Untersuchung durchgeführten Methode in der Lage, die Pulpakammer vollständig auszufüllen und in ihrer natürlichen Größe zum Kavitätenboden darzustellen.
Selbst eine beim Füllen der Pulpakammer zu erwartende Luftpolsterbildung verhindert nicht die vollständige Darstellung des Kavums. Überdies verfügt das Kunststoff-Eisengemisch über eine genügend große Röntgenopatizität, um eine verläßliche Kontrolle des Pulpaausgusses auf Vollständigkeit zu ermöglichen. Im Unterschied zu den bisherigen Ausgußverfahren bleibt die koronale Pulpakammer unversehrt, da die Füllung von appical her erfolgt und nicht wie sonst üblich durch eine occlusale Eröffnung der Pulpakammer.
Die erhaltenen Modelle sind sehr robust und ermöglichen durch ein einfaches Meßverfahren die Ermittlung des Minimalabstandes zwischen Pulpa und approximaler Kavitätenwand.

Durch die Wahl kariesfreier Zähne mit eindeutig nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum sind die Parameter : „Zahnalter und maximale Pulpaausdehnung" in der Gruppe A gut definiert. Es stellt sich die Frage, ob die Vergleichsgruppe B mit dem Merkmal Abrasion (als Ausdruck eines höheren Zahnalters) hinsichtlich der eingangs genannten Fragestellung genügend Aussagekraft besitzt, so daß auf eine differenziertere Alterseinteilung verzichtet werden kann.

Die in der Literatur beschriebene außerordentlich große Variationsbreite der koronalen Pulpaausdehnung innerhalb gleicher Altersgruppen (8; 23; 30; 42; 50; 62; 63) spricht für diese Annahme.
Es war zudem nicht beabsichtigt, einen möglicherweise größeren altersbedingten approximalen Präparationsspielraum als numerischen Wert darzustellen, sondern zu ermitteln, ob eine derartige Abhängigkeit überhaupt besteht.

Als Bezugspunkt und Bindeglied zwischen den Untersuchungsgruppen, sowie als leicht zugängliche Größe für den Kliniker, kommt der Zahnbreite eine besondere Bedeutung zu.
Vergleicht man die mittleren Zahnbreiten der Gruppe A mit den Ergebnissen anderer Autoren (5; 36; 38; 59), so ergeben sich für diese Zähne je nach Zahngruppe und Autor Differenzen von 0,22 bis 0,78 mm.
Bei den Minimal- bzw. Maximalzahnbreiten beträgt der Unterschied 0,1 bis 0,7 mm.
In der Gruppe B hingegen liegen die Minimal- und Maximalwerte sowie die mittlere Zahnbreite geringfügig niedriger als sonst angegeben. Eine mögliche Erklärung für die etwas größeren Zahnbreiten der Gruppe A ist darin zu suchen, daß die Zähne dieser Gruppe fast ausschließlich aufgrund kieferorthopädischer Indikationsstellung extrahiert wurden und somit sehr kleine Zahnbreiten fehlen.

Dagegen sind die Zahnbreiten der Gruppe B möglicherweise infolge vertikaler Abrasionsvorgänge niedriger. Werden die Zahnbreiten dieser Untersuchung insgesamt betrachtet, so läßt sich eine große Übereinstimmung mit den Werten anderer Autoren erkennen. Selbst im Vergleich zu MIETHKE (35), der bei seiner 1972 an Hartgipsmodellen kieferorthopädischer Behandlungsfälle durchgeführten Zahnbreitenmessung einen um 0,8 mm kleineren Minimalwert beschreibt, ergeben sich hinsichtlich der Mittelwerte nur geringe Differenzen.

Bezüglich der Pulpaausdehnung ist ein Vergleich der in dieser Arbeit festgestellten Befunde mit den Ergebnissen anderer Autoren nur bedingt möglich, da exakte Angaben über das Ausmaß der approximalen Hartgewebsdicke für den Bereich der maximalen Pulpaausdehnung in der Literatur kaum zu finden sind. Meist befinden sich die Schnittebenen zur Beurteilung der Dentin- bzw. Schmelzdicke im Zahnhalsbereich und an der Pulpahornspitze.
Nur in wenigen Fällen wird der Bereich zwischen diesen Polen genauer untersucht. Ebenso ist eine getrennte Vermessung der mesialen und distalen Hartgewebe selten zu beobachten. Bei manchen Untersuchungen ist der Stichprobenumfang so gering, daß eine statistische Auswertung nicht sinnvoll erscheint.

ULLMANN (62), der seine Untersuchung an über sechshundert Zähnen durchgeführt hat, differenziert zwar zwischen mesio- und distoapproximaler Wandstärke, gibt aber für den hier besonders interessierenden ersten oberen Prämolaren in entsprechender Schnittführung keine Werte an.

Bei Durchsicht seiner Tabellen für die Unterkiefer-Prämolaren findet sich jedoch ebenso wie bei KREMER (30) in der Mehrzahl der Fälle die Bestätigung einer größeren disto-approximalen Hartgewebsschicht.
Die Behauptung von ELSPASS (12), bei allen Zahntypen stets mesioapproximal die geringsten Abstände zur Pulpa gemessen zu haben, dürfte jedoch übertrieben sein und kann zumindest für den ersten oberen Prämolaren im jugendlichen Alter nicht bestätigt werden.
Zu dem Ergebnis, daß hier eher ein größerer Abstand zu erwarten ist kommt auch HUGEL (23). In der Schnittebene, die in etwa der maximalen Pulpaausdehnung entspricht, findet auch er für den mesialen Abstand zur Pulpa deutlich höhere Werte.

Hinsichtlich der Korrelation zwischen Zahnbreite und approximaler Wandstärke muß aber den Ergebnissen von HUGEL (23) mit Hinweis auf die Methodik und der größeren Zahl der untersuchten Prämolaren widersprochen werden.
Bei genauer Betrachtung stellen sich zudem die Zusammenhänge zwischen Zahnbreite und Pulpaausdehnung keineswegs so eindeutig dar, wie er es in der Zusammenfassung seiner Arbeit behauptet. Die von HUGEL (23) ermittelten Regressionskoeffizienten liegen in der entsprechenden Schnittebene zwischen 0,69 und 0,74 und sind somit Ausdruck einer fehlenden oder nur schwach ausgeprägten linearen Abhängigkeit.
In bucco-palatinaler Richtung stellte er keinen Zusammenhang zwischen Zahnbreite und Pulpaausdehnung fest.

SCHAAF (49), der eine ähnliche Untersuchung an unteren Prämolaren durchgeführt hat, gibt leider nur Werte in bucco-lingualer Richtung an, weist hier aber ebenfalls auf das Fehlen einer Korrelation zwischen Zahnbreite und Pulpaausdehnung hin.

STAEGEMANN und WENZEL (54) finden bei einer Untersuchung an oberen Frontzähnen weder in vestibulo-oraler, noch in mesio-distaler Richtung einen Zusammenhang zwischen Zahnaußenmaß und Kronenwandstärke.
Ein weiteres Indiz gegen die Annahme einer linearen Abhängigkeit der beiden Größen ist durch die in der Literatur beschriebene außerordentlich große Variationsbreite der koronalen Pulpaausdehnung gegeben.

Zur Problematik der physiologischen Dentinapposition mit zunehmendem Alter sind in der Literatur sehr unterschiedliche Aussagen zu finden.
Gehen SZABO (57) und PREISWERK (45) noch von einer gleichmäßigen Dentinzunahme von einem Millimeter in Seitenrichtung aus, stellt TRUEB (60) einige Jahre später in einer viel umfangreicheren Untersuchung fest, daß die seitliche Dentinzunahme wesentlich niedriger ist und nicht an allen Kammerwandungen gleichmäßig erfolgt.
Ebenso wie SZABO (57) und andere Autoren seiner Zeit ging er dabei von einer Voraussetzung aus, die aufgrund der vorliegenden Ergebnisse zumindest für die Approximalverhältnisse an Prämolaren nicht zutreffend ist.

TRUEB (60) war der Auffassung, daß sich die Breiten der Pulpakammern zweier Zähne aus verschiedenen Altersgruppen so zueinander verhalten, wie sich ihre Zahnbreiten zueinander verhalten. Diese Ansicht faßte er in eine mathematische Formel, die dann Grundlage seiner Untersuchung wurde. Die Fehlerhaftigkeit dieses Ansatzes kommt in seiner Arbeit selbst zum Ausdruck, als er beim Vergleich jugendlicher Prämolaren mit Zähnen mittlerer Altersstufen eine deutliche Zunahme des Dentinmantels feststellt, dies aber im Vergleich zur höchsten Altersgruppe nicht bestätigt findet.

Spätere Autoren, die von einer altersbedingten Veränderung des Pulpakavums in saggitaler Richtung sprechen, weisen auf die große Variationsbreite derselben hin (8; 23; 42; 63), oder stellen keine Veränderung der Pulpakammer in dieser Richtung fest (30; 62).

Auch in der vorliegenden Arbeit ergibt sich lediglich für die distoapproximale Kammerwand des ersten unteren Prämolaren eine altersabhängige statistisch signifikante Hartgewebszunahme.

In Anlehnung an EULER (13), der in „besonderen Belastungswirkungen" die Ursache zur Ausbildung von „Prädilektionsstellen der Dentinapposition " sieht, ist dieser Befund möglicherweise Folge der vorwiegend distalen Belastung dieser Zähne bei der Mastikation.

Hinweise zur erforderlichen approximalen Präparationstiefe beschränken sich im allgemeinen auf die Forderung, diese nicht zu schmal, bzw. genügend breit zu gestalten.
Die zugrunde gelegte Stufenbreite von 1,2 mm entspricht nach unserer Auffassung den klinischen Erfordernissen. KETTERL (29) fordert ebenfalls eine 1,2 mm breite Stufe, gibt jedoch keinen genauen Hinweis zur Ermittlung dieses Wertes.

Neben der positiven Aussage, die Pulpa in keinem Fall eröffnet zu haben, steht der Befund einer mitunter nur 0,25 mm dicken Hartgewebsschicht zwischen approximalem Kavitätenboden und Pulpa. Da die Zahnbreite keine Rückschlüsse auf die maximal mögliche Präparationstiefe zuläßt, ist eine solche Situation immer dann zu erwarten, wenn die Präparation an einem Zahn erforderlich wird, dessen Pulpakavum nicht durch kariogene oder andere Noxen verkleinert ist. Klinisch ist dies vor allem bei fehlender Retention einer einflächig approximalen Kavität, bei zu schmaler Randleiste und bei approximaler Initialkaries der Fall.
In diesem Zusammenhang sei auf die Veröffentlichungen von RIETHE (48), SWERDLOW (56) und STAMBAUGH (55) hingewiesen, wonach sich die Gefahr einer Pulpaschädigung durch entsprechend vorsichtige Präparationsweise reduzieren läßt.

Ähnliche Befunde, wie die hier vereinzelt aufgetretenen atypischen Ausbuchtungen der Kronenpulpa, wurden bisher nur von SCHWARZ (52) beschrieben, der sie bei einer anthropologischen Untersuchung von Melanesiern an Pulpaausgüssen mit Wood'schem Metall beobachtete.

Leider war es nicht möglich festzustellen, ob die untersuchten Zähne, die diese Besonderheit aufwiesen, ebenfalls aus dem Populationskreis der Melanesier stammen.

Die Frage, ob dieses Merkmal möglicherweise genetisch determiniert ist, oder zur normalen Variationsbreite der koronalen Pulpaausdehnung gerechnet werden muß, - die hier lediglich durch die Auswahl von Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum in Verbindung mit einer geeigneten Darstellungsmethode in Erscheinung tritt - läßt sich an dieser Stelle nicht beantworten.

8. Zusammenfassung

An 111 Prämolaren mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum und 112 kariesfreien Prämolaren mit Abrasionen wurden die räumlichen Beziehungen zwischen approximaler Kavitätenwand und Pulpakammer anhand eines dreidimensionalen Systems untersucht.

Folgende Ergebnisse ließen sich feststellen:

1.) Das Palavit-Eisengemisch war nach der in dieser Untersuchung durchgeführten Methode in der Lage, die Pulpakammer vollständig auszufüllen und bot zudem die Möglichkeit einer Röntgenkontrolle.

2.) Die hergestellten Modelle zeigten die Pulpa in natürlicher Relation zur Kavität und ermöglichten eine einfache Meßmethode zur Bestimmung der approximalen Mindestabstände.

3.) An Zähnen beider Altersgruppen ließ sich eine 1,2 mm breite approximale Stufe präparieren, ohne die Pulpa zu eröffnen. Diese Breite der zervikalen Schulter genügt allen Ansprüchen an die Retentions- und Widerstandsform.

4.) An drei Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum wurde eine makroskopisch sichtbare atypische Ausbuchtung der Pulpakammer beobachtet.

5.) Die Zahnbreite erlaubt keine Rückschlüsse auf die maximal mögliche approximale Präparationstiefe.

6.) Bei Unterkiefer-Prämolaren ist distal ein größerer Abstand zur Pulpa zu erwarten als mesial.

7.) Eine altersbedingte Dentinzunahme der approximalen Pulpawandungen ließ sich nur distoapproximal bei den ersten unteren Prämolaren nachweisen.
Die zervikale Schulter kann im höheren Lebensalter nicht breiter gestaltet werden.

9. Anhang

Erläuterungen zu den Tabellen 1 bis 16

A	= atypische Ausbuchtung der Kronenpulpa
Abr. III	= Abrasionsgrad drei
F	= Zahn beim Abtrennen der Wurzel frakturiert
Obl.	= Pulpakavum obliteriert
P	= Pulpa unterhalb der Schmelz-Zementgrenze
X	= Präparationstiefe 1,3 mm die Werte für den mesialen und distalen Abstand zur Pulpa um 0,1 mm berichtigt.

Alle Zahlenangaben der Tabellen in Millimeter

Tabelle 1

Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum

Zahn 4+	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	distal	Besonderheiten
	1	6,9	0,30	0,55	
	2	6,9	0,35	0,50	
	3	6,9	0,35	0,30	
	4	7,1	0,60	0,45	X
	5	7,3	0,75	1,10	
	6	7,3	0,70	0,85	
	7	7,3	0,85	1,15	X
	8	7,4	-	-	F
	9	7,4	0,80	0,55	
	10	7,4	0,85	0,75	
	11	7,4	0,75	0,55	
	12	7,4	0,80	0,70	
	13	7,6	0,70	0,45	
	14	7,6	0,80	0,65	
	15	7,6	0,60	0,40	
	16	7,6	0,60	0,50	
	17	7,7	-	-	F
	18	7,7	0,70	0,60	
	19	7,7	0,60	0,50	X
	20	7,8	0,65	0,50	
	21	8,6	0,80	1,00	

Tabelle 2

Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum

Zahn 5+	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	Abstand Pulpa - Kavität distal	Besonderheiten
	22	6,5	0,40	0,40	
	23	7,0	0,60	0,45	
	24	7,2	0,70	0,60	
	25	7,3	-	-	F
	26	7,3	0,65	0,55	
	27	7,3	0,65	0,50	
	28	7,4	0,90	0,75	
	29	7,4	0,85	0,65	
	30	7,6	0,50	0,55	
	31	7,6	0,25	0,40	

Tabelle 3

Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum

Zahn +4	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	distal	Besonderheiten
	32	6,5	0,55	0,50	
	33	7,0	0,70	0,55	
	34	7,0	-	-	F
	35	7,1	0,80	0,55	
	36	7,1	0,70	0,55	
	37	7,2	0,70	0,50	
	38	7,3	0,70	0,55	
	39	7,3	0,70	0,55	
	40	7,3	0,70	0,50	
	41	7,3	0,95	0,60	A
	42	7,4	0,60	0,40	
	43	7,4	0,70	0,55	
	44	7,4	0,95	0,65	D
	45	7,4	0,70	0,55	
	46	7,6	0,60	0,40	
	47	7,6	0,75	0,85	
	48	7,6	0,70	0,45	
	49	7,6	0,60	0,50	
	50	7,8	0,45	0,55	
	51	7,8	0,45	0,50	X
	52	7,8	0,80	0,50	X
	53	7,9	0,85	0,70	

Tabelle 4

Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum

Zahn -5	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	distal	Besonderheiten
	54	7,0	-	-	F
	55	7,1	0,65	0,55	
	56	7,2	0,45	0.50	
	57	7,2	0,45	0,60	
	58	7,4	0,80	0,75	
	59	7,4	0,55	0,55	
	60	7,6	0,60	0,65	

Tabelle 5

Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum

ahn -	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	distal	Besonderheiten
	61	6,8	0,35	0,30	
	62	6,8	0,40	0,35	
	63	6,8	0,55	0,50	
	64	6,9	0,35	0,55	
	65	7,0	0,40	0,45	
	66	7,1	0,45	0,55	
	67	7,4	0,55	0,70	
	68	7,4	0,65	0,70	A
	69	7,5	0,70	0,70	
	70	7,5	0,80	0,75	

Tabelle 6

Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum

Zahn 5-	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	distal	Besonderheiten
	71	7,0	0,40	0,65	X
	72	7,0	0,50	0,45	
	73	7,0	-	-	F
	74	7,1	0,55	0,75	
	75	7,4	0,50	0,40	
	76	7,5	0,70	0,80	
	77	7,5	0,80	0,75	
	78	7,6	0,50	0,55	
	79	7,8	0,70	0,65	
	80	7,8	0,75	0,70	
	81	8,0	0,70	0,70	D
	82	8,0	0,50	0,60	
	83	8,1	0,50	0,70	A
	84	8,1	0,55	0,65	
	85	8,1	0,55	0,75	
	86	8,1	0,60	0,70	
	87	8,3	0,50	0,65	
	88	8,4	0,70	0,90	
	89	8,5	0,70	0,60	

Tabelle 7

Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum

ahn 4	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	distal	Besonderheiten
	90	6,3	0,40	0,45	
	91	6,9	0,30	0,45	X
	92	7,0	0,60	0,55	
	93	7,0	0,35	0,45	
	94	7,1	0,40	0,50	
	95	7,3	0,40	0,40	
	96	7,3	0,40	0,35	
	97	7,3	0,45	0,40	
	98	7,5	0,60	0,80	
	99	7,6	0,30	0,50	

Tabelle 8

Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum

Zahn -5	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	distal	Besonderheiten
	100	6,9	0,60	0,70	
	101	7,0	0,45	0,40	
	102	7,1	0,80	0,65	
	103	7,2	0,50	0,55	
	104	7,2	0,50	0,55	
	105	7,5	0,85	1,10	
	106	7,5	0,75	0,80	
	107	7,5	0,85	1,00	
	108	7,9	0,90	0,80	
	109	8,1	0,60	0,60	
	110	8,2	0,45	1,00	
	111	8,2	0,45	0,90	

Tabelle 9

Zähne mit Abrasionen

Zahn +	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	Abstand Pulpa - Kavität distal	Besonderheiten
	1	6,3	-	-	Abr. III; Obl.
	2	6,4	0,30	0,45	
	3	6,4	0,40	0,45	
	4	6,6	-	-	F
	5	6,6	0,60	0,75	
	6	6,7	0,30	0,55	Abr. III
	7	6,9	0,50	0,60	
	8	7,0	0,60	0,60	
	9	7,1	0,50	0,65	
	10	7,2	0,70	1,00	

Tabelle 10

Zähne mit Abrasionen

Zahn 5+	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	distal	Besonderheite
	11	5,7	-	-	Abr. III; Obl.
	12	6,1	0,60	0,35	
	13	6,2	0,50	0,65	X
	14	6,2	0,45	0,45	
	15	6,4	0,50	0,25	Abr. III
	16	6,5	0,35	0,45	
	17	6,5	0,45	0,50	Abr. III
	18	6,6	0,60	0,55	
	19	6,6	0,65	0,65	
	20	6,6	0,25	0,25	
	21	6,7	0,80	0,35	Abr. III
	22	6,8	0,80	0,75	
	23	6,8	0,60	0,35	

Tabelle 11

Zähne mit Abrasionen

Zahn +4	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	distal	Besonderheiten
	24	6,0	0,40	0,40	
	25	6,3	0,40	0,55	
	26	6,7	0,60	0,65	
	27	7,2	0,80	1,15	
	28	7,2	0,80	0,85	
	29	7,3	0,65	0,65	
	30	7,3	0,60	0,50	
	31	7,4	0,65	0,80	
	32	7,4	0,55	0,70	

Tabelle 12

Zähne mit Abrasionen

Zahn +5	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	distal	Besonderheiten
	33	5,8	0,35	0,65	X
	34	6,0	0,50	0,50	
	35	6,0	0,45	0,60	
	36	6,1	-	-	P
	37	6,1	0,70	0,75	
	38	6,1	0,70	0,85	
	39	6,2	0,75	0,95	
	40	6,5	-	-	Abr. III; Obl.
	41	6,5	0,55	0,70	Abr. III
	42	6,5	0,50	0,30	Abr. III
	43	6,5	0,40	0,60	
	44	6,5	0,60	0,35	
	45	6,5	0,60	0,75	
	46	6,6	0,50	0,75	
	47	7,1	0,65	0,50	
	48	7,2	0,70	0,60	

Tabelle 13

Zähne mit Abrasionen

ahn	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität		Besonderheiten
			mesial	distal	
	49	6,0	0,75	0,90	
	50	6,0	0,75	0,75	X
	51	6,2	0,50	0,45	
	52	6,5	-	-	Obl.
	53	6,6	0,85	0,85	
	54	6,7	-	-	P
	55	6,7	0,75	0,80	
	56	6,8	0,50	0,80	X
	57	6,8	0,65	0,95	
	58	6,9	0,40	0,85	
	59	6,9	0,35	0,75	
	60	7,0	0,30	0,50	
	61	7,0	0,45	0,70.	
	62	7,0	0,80	0,70	
	63	7,0	0,50	0,60	
	64	7,0	0,45	0,80	
	65	7,0	0,85	0,70	

Tabelle 14

Zähne mit Abrasionen

Zahn 5-	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	distal	Besonderheiten
	66	6,1	0,50	0,65	Abr. III
	67	6,2	0,60	0,65	
	68	7,2	0,55	0,75	
	69	7,3	0,40	0,55	
	70	7,5	0,50	0,80	
	71	7,6	0,45	0,75	X
	72	7,8	0,60	0,85	
	73	7,8	0,65	0,85	
	74	7,8	0,70	0,85	

Tabelle 15

Zähne mit Abrasionen

ahn 4	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	distal	Besonderheiten
	75	5,9	-	-	F
	76	6,2	0,80	0,90	
	77	6,2	0,55	0,60	X
	78	6,3	0,40	0,50	
	79	6,3	-	-	F
	80	6,3	0,45	0,55	
	81	6,4	0,40	0,65	
	82	6,7	-	-	F
	83	6,7	0,70	0,70	D
	84	6,7	0,80	0,80	
	85	6,8	0,40	0,65	
	86	6,8	0,35	0,60	
	87	6,8	-	-	F
	88	7,0	0,60	0,55	
	89	7,0	0,70	0,55	
	90	7,1	0,80	1,00	
	91	7,1	0,80	1,10	
	92	7,2	0,40	0,65	
	93	7,2	0,50	0,55	
	94	7,6	1,00	1,10	
	95	7,7	0,80	1,00	

Tabelle 16

Zähne mit Abrasionen

Zahn -5	Probe	Zahnbreite	Abstand Pulpa - Kavität mesial	distal	Besonderheiten
	96	7,0	0,60	0,65	
	97	7,0	0,70	0,75	
	98	7,1	0,45	0,70	
	99	7,1	0,65	0,70	D
	100	7,2	0,60	0,65	
	101	7,2	0,50	0,60	
	102	7,3	1,05	1,00	X
	103	7,3	0,65	0,60	
	104	7,3	1,25	1,15	
	105	7,4	0,65	0,50	
	106	7,4	0,75	0,80	
	107	7,5	0,70	0,85	
	108	7,5	0,70	0,70	D
	109	7,5	0,80	0,90	
	110	7,6	0,70	0,50	
	111	7,6	1,20	1,05	
	112	7,7	1,25	1,00	

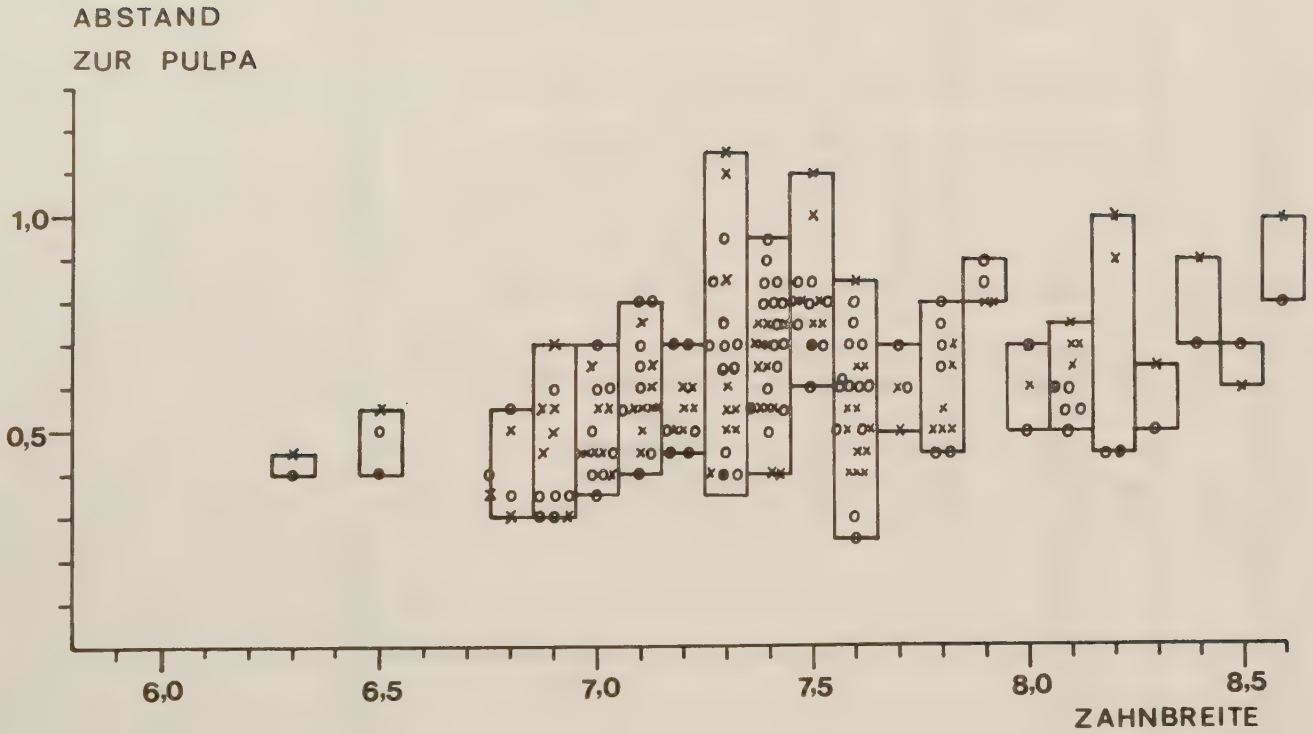
Erläuterungen zu den Grafiken 1 und 2

O = mesialer Abstand zwischen Pulpa und approximaler Kavitätenwand

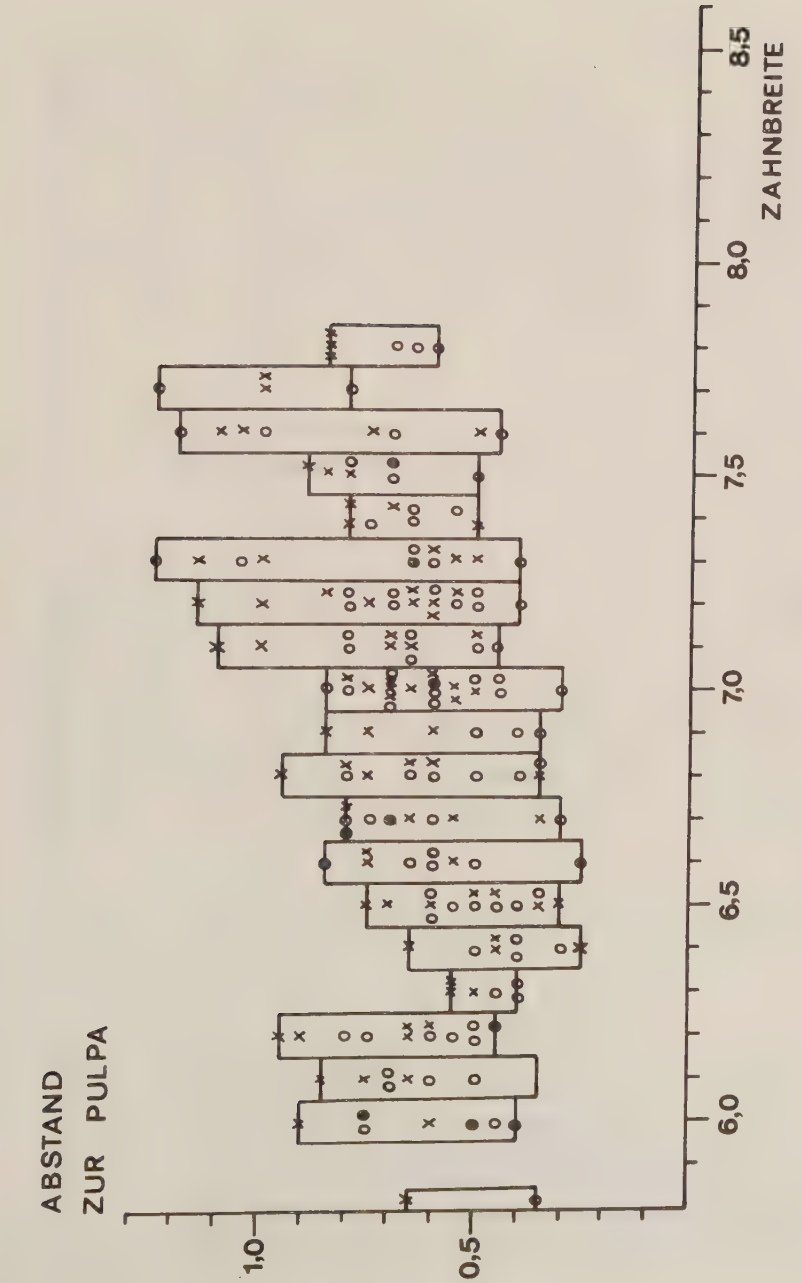
X = distaler Abstand zwischen Pulpa und approximaler Kavitätenwand

= mesialer und distaler Abstand zur Pulpa gleich groß

Alle Zahlenangaben der Grafiken in Millimeter



Grafik 1: Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum
Erläuterung der Zeichen auf S.69



Grafik 2: Zähne mit Abrasionen
Erläuterung der Zeichen auf S. 69

Tabelle: 17 Zahnbreitenmaße der Gruppe A

Zähne	n	$\bar{x}$	S	Min	Max	Median
+4+	40	7,4225	0,3548	6,5	8,6	7,4
+5+	15	7,2800	0,2808	6,5	7,6	7,3
-4-	20	7,1250	0,3274	6,3	7,6	7,1
-5-	30	7,6833	0,4763	6,9	8,5	7,7

Tabelle: 18 Zahnbreitenmaße der Gruppe B

Zähne	n	$\bar{x}$	S	Min	Max	Median
+4+	17	6,8882	0,4313	6,0	7,4	7,0
+5+	26	6,4461	0,3337	5,8	7,2	6,5
-4-	32	6,7875	0,4163	6,0	7,7	6,85
-5-	26	7,3076	0,4146	6,1	7,8	7,35

Erläuterungen zu Tabelle 17 und 18

n = Anzahl der Zähne
$\bar{x}$ = Mittelwert
S = Standardabweichung
Min/Max = Extremwerte
Median = Medianwert

Tabelle: 19

Lineare Regression

Zahnbreite / Abstand zur Pulpa

Zähne	Gruppe	Abstand zur Pulpa	n	a	b	r	r^2
+4+	A	mes.	40	-0,216	0,121	0,287	0,082
		dist.		-0,276	0,116	0,228	0,052
+5+	A	mes.	15	-0,092	0,095	0,152	0,023
		dist.		-0,650	0,167	0,435	0,189
-4-	A	mes.	20	-0,894	0,191	0,448	0,201
		dist.		-1,193	0,240	0,552	0,304
-5-	A	mes.	30	0,469	0,019	0,064	0,004
		dist.		-0,120	0,107	0,306	0,094
+4+	B	mes.	17	-1,185	0,252	0,710	0,504
		dist.		-1,251	0,278	0,603	0,363
+5+	B	mes.	26	-0,277	0,130	0,306	0,094
		dist.		1,271	-0,111	-0,196	0,038
-4-	B	mes.	32	0,204	0,059	0,128	0,016
		dist.		-0,135	0,128	0,303	0,092
-5-	B	mes.	26	-0,467	0,159	0,280	0,078
		dist.		-0,255	0,139	0,345	0,119

Erläuterungen zu Tabelle 19:

mes. = mesioappoximal
dist. = distoappoximal
n = Anzahl der Zähne
a und b = Koeffizienten der Geraden
r_2 = Regressionskoeffizient
r^2 = wird als „Determinationskoeffizient" bezeichnet und gibt an, in welchem Ausmaß die Varianz der Abstände zur Pulpa durch die Varianz der Zahnbreiten determiniert ist. Dieser Wert kann als Prozentzahl (x100) gedeutet werden.

Tabelle: 20 Wilcoxon - Test für Paardifferenzen

Zähne	Gruppe	n	n-a	n-b	T+	T-	P
OK	A	55	2	53	1093,00	338,00	0,000001
+4+	A	40	0	40	631,50	188,50	0,000001
+5+	A	15	2	13	63,50	27,50	$>0,05$
UK	A	50	4	46	228,00	853,00	0,000001
-4-	A	20	2	18	38,50	132,50	$\leq 0,05$
-5-	A	30	2	28	84,50	321,50	0,000003
OK	B	43	7	36	223,50	442,50	0,000001
+4+	B	17	3	14	4,50	100,50	$\leq 0,01$
+5+	B	26	4	22	128,00	125,00	$>0,05$
UK	B	58	5	53	248,00	1183,00	0,000001
-4-	B	32	4	28	40,50	365,50	0,000003
-5-	B	26	1	25	89,00	236,00	$\leq 0,05$

Erläuterungen zu Tabelle 20

Die der Rechnung zugrunde liegenden Wertepaare bestehen jeweils aus dem mesialen und dem distalen Abstand zur Pulpa.
Die Differenzen wurden stets zum mesialen Wert gebildet, so daß bei einer höheren Rangsumme für T+ und $P \leq 0,05$ in dieser Stichprobe der mesiale Abstand zur Pulpa signifikant größer ist
Bei T- größer als T+ und $P \leq 0,05$ ist der distale Abstand größe

n = Anzahl der eingegebenen Wertepaare
n-a = Anzahl der ausgeschlossenen Wertepaare (D = 0)
n-b = Anzahl der berücksichtigten Wertepaare (D = 0)
T+ = Rangsumme der positiven Differenzen
T- = Rangsumme der negativen Differenzen
P = Irrtumswahrscheinlichkeit

Tabelle: 21 Mesialer Abstand zwischen Kavitätenboden und Pulpa

	Gruppe A			Gruppe B		
n	Median	RS	n	Median	RS	P
105	0,60	11141,50	101	0,60	10179,50	0,2598

Tabelle: 22 Distaler Abstand zwischen Kavitätenboden und Pulpa

	Gruppe A			Gruppe B		
	n	Median	RS	n	Median	RS	P
	105	0,55	9401,50	101	0,65	11919,50	0,00025
Zahn -4+	40	0,55	1063,00	17	0,65	590,00	0,05
-5+	15	0,55	321,00	26	0,57	540,00	0,05
-4-	20	0,50	317,00	32	0,70	1061,00	0,01
-5-	30	0,70	774,50	26	0,75	821,50	0,09

rläuterungen zu Tabelle 21 und 22

n = Anzahl der Zähne
Median = Medianwert
RS = Rangsumme
P = Irrtumswahrscheinlichkeit

Der höhere Medianwert bei $P \leq 0,05$ ist Ausdruck des signifikant größeren Abstands zur Pulpa in der entsprechenden Gruppe.

Literaturverzeichnis

1. Adloff, P. Das Durchsichtigmachen von Zähnen und unsere Wurzelfüllmethoden Dtsch Mschr Zahnheilk 29, 445-447 (1913)

2. Arkövy, J. Diagnostik der Zahnkrankheiten Verlag von Ferdinand Enke Stuttgart 1885

3. Baume, R. Lehrbuch für Zahnheilkunde A. Felix, Leipzig 1877

4. Black, G.V. Anchorage of proximal fillings in the biscuspids and molars Dent Rec 13, 367 - 371 (1893)

5. Black, G.V. Descriptive Anatomy of the Human Teeth SS. White Dental Manufactoring Co, Philadelphia 1902, 4. Aufl.

6. Black, G.V. Konservierende Zahnheilkunde autorisierte deutsche Übersetzung von Dr. Hans Pichler Verlag Hermann Meusser, Berlin 1914 Bd. II

7. Bödecker, C.F.W. Die Anatomie und Pathologie der Zähne. Leipzig 1899

8. Bölting, H. Histologie und Pathohistologie der Zahnpulpa im Senium Med Diss Bonn 1956

9. Brauer, G. Chemische Analyse von Methacrylat-Kunststoffen Dtsch Zahnärztl Z 30, 672-679 (1975)

10. Carabelli, G. Edlen von Lunkaszprie Systhematisches Handbuch der Zahn-Heilkunde (Anatomie des Mundes) Braunmüller und Seidel Wien (1844) Bd. II, S. 65

11. Dermann, K. Modellwerkstoffe in: Eichner, Karl Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung A. Hüthig Heidelberg 1981,Bd. I, S.71

12. Elspass, S. Röntgenologische Darstellung und Messung der Pulpenausdehnung und Schmelz-Dentinwände der verschiedenen Zahntypen in Beziehung zur Präparation Med Diss Düsseldorf 1961

13. Euler, H. und Meyer, W. — Pathohistologie der Zähne mit besonderer Berücksichtigung der Pathobiologie
J.F. Bergmann München 1927

14. Fasoli und Arlotta — Stomatologia 1913
zit. bei Fischer, G. Beiträge zur Behandlung erkrankter Zähne ....
in: Dtsch Zahnheilk in Vorträgen (Heft 4/5), Hrsg. A. Witzel
Leipzig 1908, Verlag G. Thieme

15. Feiler, E. — Das Füllen der Zähne mit ungeformten Material
in: Partsch; Bruhn; Kantorrowicz Handbuch der Zahnheilkunde
J.F. Bergmann Verlag München 1925
Bd. II, S. 139

16. Fischer, G. — Über den heutigen Stand der Wurzelbehandlung
Dtsch Zahnärztl Wschr 10; 606-610 (19

17. Fischer, G. — Über die feinere Anatomie der Wurzelkanäle menschlicher Zähne
Dtsch Mschr Zahnheilk 15; 544-552 (19

18. Fischer, G. Beiträge zur Behandlung erkrankter Zähne mit besonderer Berücksichtigung der Anatomie und Pathologie der Wurzelkanäle
in: Dtsch Zahnheilk in Vorträgen (Heft 4/5) Hrsg. A. Witzel
Verlag G. Thieme Leipzig 1908, S.5-26

19. Fischer, G. Bau und Entwicklung der Mundhöhle des Menschen
Verlag W. Klinkhardt Leipzig 1909

20. Frenzel, G. Untersuchungen über die Möglichkeit der Beurteilung der Größe des Pulpenkavums nach dem Röntgenbild
Dtsch Zahnärztl Wschr 43; 298-306 (1940)

21. Hess, W. Zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit Berücksichtigung der feineren Verzweigungen am Foramen opicale
Schweiz Vjschr Zahnheilk 27; 1-53 (1917)

22. Hoppe, B. Die Darstellung der Pulpakammer auf dem Röntgenbild
Med Diss Bonn 1968

23. Hugel, R. Untersuchungen über die Wandstärken von Schmelz und Dentin an oberen Frontzähnen und Prämolaren
Med Diss Würzburg 1970

24. Joannou, H. Darstellung des Pulpencavums menschlicher Zähne mittels eines spritzbaren Kunststoffes
Med Diss Dresden 1966

25. Jung, T. Fehler und Irrtümer bei der Interpretation des Röntgenbildes in der Prothetik
Dtsch Zahnärztl Z 29, 320-323 (1974)

26. Jung, T. Der Wert des Röntgenbildes bei der Präparation von Kronen
Dtsch Zahnärztl Z 39, 801-806 (1984)

27. Junghenn, F. Die Darstellung der Pulpa und ihrer Ramifikationen bei menschlichen Zähnen
Ergebn der ges Zahnheilk 7, 106-129 (1924)

28. Kantorowicz, A. Klinische Zahnheilkunde
Hermann Meusser Berlin 1924

29. Ketterl, W. Kritische Betrachtungen zur rationellen Kavitätenpräparation für Füllungen aus plastischen Materialien
Zahnärztl Welt 85, 16-20 (1976)

30. Kremer, G. Anatomische Untersuchungen zur Präparation von Verblend- und Jacketkronen im Front- und Seitenzahngebiet unter besonderer Berücksichtigung der Größe des Pulpencavums in den verschiedenen Altersklassen
Med Diss Münster 1972

31. Lenz, E. Werkstoffkundliche Untersuchungen über die Verwendbarkeit schnellhärtender Kunststoffe für Gußmodelle
Dtsch Stomat 14, 321-334 (1964)

32. Loos, R. Topographie der Pulpahöhle mit Rücksicht auf die Präparation der Kavität
Öst-Ung Vjschr Zahnheilk 25, 40-74 (1909)

33. Mathis, H.
Clementschitsch, F. Bericht über eine Untersuchung an Zähnen und Kiefern der prähistorischen und gegenwärtigen Bevölkerung im Gebiete des Gaues Niederdonau
Z Stomat 37, 1470-1485 (1939)

34. Meyer, W. und Scheele, E. — Die Anatomie der Wurzelkanäle
Dtsch Zahnärztl Z 9, 497-500 (1954)

35. Miethke, R. R. — Zahnbreiten und Zahnbreitenkorrelationen
Zahnmed Diss Fu-Berlin 1972

36. Moorrees, C.F.A. et al. — Mesiodistal Crown Diameters of The Deciduous and Permanent Teeth in Individuals
J Dent Res 36, 39-47 (1957)

37. Moral, H. — Über Pulpaausgüsse
Dtsch Mschr Zahnheilk 32, 617-625 (1914)

38. Mühlreiter, E. — Über Minimal- und Maximalgrößen der Zähne
Dtsch Vjschr Zahnheilk 14, 119-123 (1874)

39. Mühlreiter, E. und Cohen, J. — Anatomie des menschlichen Gebisses
Arthur Felix Leipzig 1920

40. Peckert, H. — Einführung in die konservierende Zahnheilkunde
Verlag S. Hirzel Leipzig 1921

41. Pfaltz, C.R.
Richter, H.R. und
Tomasch, J.
Zur Verwendung von Methylmethacrylsäureester bei der Herstellung von anatomischen Korrosionen und Ausgüssen
Acta anat 11, 208-212 (1950)

42. Plischka, G.
Die röntgenologische Darstellung und Messung der Pulpahöhle und ihrer Formvariationen am vitalen Zahn
Dtsch Zahnärztl Z 13, 725-738 (1958)

43. Preiswerk, G.
Pulpaamputation und Wurzelbehandlung
Schweiz Vjschr Zahnheilk , 275-284 (1896)

44. Preiswerk, G.
Die Technik der Corrosionspräparate
Öst-Ung Vjschr Zahnheilk 17, 212-218 (1901)

45. Preiswerk, G.
Die Corrosionsanatomie der Zähne, des Unterkiefers und der pneumatischen Gesichtshöhlen
in: Hb Zahnheilk Bd. I, 2. Aufl.
Hrsg. J. Scheff, Wien 1902, S. 225

46. Preiswerk, G.
Lehrbuch und Atlas der Zahnheilkunde
in: Lehmanns Medizinische Handatlanten
München 1919

47. Reither, W. Vergleichende Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von Wachs- und Kunststoff-Gussmodellen
Schweiz Mschr Zahnheik 76, 40-48 (1966)

48. Riethe, P. Präparation und Pulpa
Dtsch Zahnärztl Z 24, 695-700 (1969)

49. Schaaf, R. Untersuchungen über die Ausmasse von Schmelz und Dentin an unteren Frontzähnen und Prämolaren
Med Diss Würzburg 1971

50. Schulze, L. Die Schmelz- und Dentinstärken der verschiedenen Zahntypen in Beziehung zur Kavitätenpräparation
Med Diss Dresden 1938

51. Schummer, A. Ein neues Mittel (Plastoid) und Verfahren zur Herstellung korrosion anatomischer Präparate
Anat Anz 81, 177-201 (1935)

52. Schwarz, R. Kiefer und Zähne der Melanesier in morphologischer und morphogenetisch Beziehung
Schweiz Mschr Zahnheilk 35, 44-78 (1925)

53. Spalteholz, W. — Über das Durchsichtigmachen von menschlichen und tierischen Präparaten und seine theoretischen Bedingungen
Leipzig 1911

54. Staegemann, G. und Wenzel, R. — Prothetische Pfeilerpräparation in Abhängigkeit von der Zahnkronenform und der Pulpaausdehnung
Stomat DDR 29, 775-782 (1979)

55. Stambaugh, R.V. and Wittrock, J.W. — The relationship of the chamber to the external surface of the tooth
J Prosth Dent 37, 537-546 (1977)

56. Swerdlow, H. and Stanley, H.R. — Reaction of the human dental pulp to the cavity preparation
J Am Dent Ass 56, 317-329 (1953)

57. Szabo, J. — Die Größenverhältnisse des Cavum pulpae nach Altersstufen
Öst-Ung Vjschr Zahnheilk 16, 12-24 (1900)

58. Tomes, Ch. und Hollaender, L. — Die Anatomie der Zähne des Menschen und der Wirbeltiere sowie deren Histologie und Entwicklung
Hirschwald, Berlin 1877

59. Tonn, P. Über die mesio-distalen Zahnbreiten-Relationen der Zähne des Oberkiefers zu den entsprechenden des Unterkiefers bei normaler und anomaler Okklusion
Med Diss Berlin 1937

60. Trueb, K. Größenverhältnisse des Cavum pulpae nach Altersstufen
Dtsch Mschr Zahnheilk 28, 401-443 (1909)

61. Uhlig, H. Uber Blasenbildung bei der Paladonpolimerisation
Dtsch Zahnärztl Z 6, 1387-1398 (1951)

62. Ullmann, K. Die topographische Anatomie der Zahnhartgewebe in Abhängigkeit vom Lebensalter
Med Diss Berlin 1972

63. Vilches, H. Röntgenologische Untersuchung der Größenverhältnisse des Cavum pulpae nach Altersstufen
Diss FU-Berlin 1981

64. Viohl, J.
Kunststoff-Füllungswerkstoffe
in: Eichner, Karl
Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung
Verlag A. Hüthig Heidelberg 1981
Bd. 2, 4. Aufl., S. 125

65. Wagner, F.
Untersuchungen über die Größenverhältnisse des Cavum pulpae und seiner Wände
Dtsch Mschr Zahnheilk 45, 1027-1045 (1927)

66. Walkhoff, O.
Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde
Verlag H. Meusser Berlin 1921

67. Wedl, C. und Heider, M
Atlas zur Pathologie der Zähne
A. Felix Leipzig 1869

68. Witzel, A.
Die praktische Behandlung exponirter und kauterisirter Pulpen
Dtsch Vjschr Zahnheilk 14, 434-447 (1874)

Herrn Professor Dr. Dr. R. Harndt danke ich für die Überlassung des Themas und seine freundliche Beratung bei der Durchführung der Arbeit.

Mein Dank gilt weiterhin Herrn Oberarzt Dr. W. Hoefig für seine hilfreiche Unterstützung bei der Literaturarbeit, sowie Herrn Oberarzt Dr. F. Sachs für die wertvollen Anregungen zur technischen Durchführung der Untersuchungen.

Den Mitarbeitern des Instituts für Medizinische Statistik und Dokumentation der FU Berlin danke ich für die Unterstützung bei der Lösung statistischer Probleme.

Lebenslauf

Name	Hubert Südfels
Geburtstag	27. September 1953
Geburtsort	Südlohn / Westf.
Familienstand	verheiratet
Eltern	Hubert Südfels, Kfz.-Mechanikermeister Elisabeth Südfels, geb. Telöken
1959 - 1968	Besuch der Katholischen Volksschule Südlohn
1968 - 1972	Lehrzeit als Kfz.-Elektriker Gesellenprüfung am 28.1.1972
1971 - 1972	Besuch der Fachoberschule des Landkreises Ahaus (Abendschule) mit Abschluß der mittleren Reife am 9.6.1972
1972 - 1973	Besuch der Fachoberschule des Landkreises Ahaus. Erlangung der Fachhochschulreife am 14.6.1973
SS 1973 - SS 1975	Studium der Betriebswirtschaft an der Fachhochschule für Wirtschaft Berlin. Vorprüfung und gleichzeitige Erlangung der allgemeinen Hochschulreife am 7.7.1975
WS 1975 / 76 - WS 1980 / 81	Studium der Zahnheilkunde an der FU Berlin Bestallung als Zahnarzt am 13.3.1981
1981 - 1983	Vom 15.5.1981 - 14.4.1983 arbeitete ich als Ausbildungsassistent
1983 -	Seit dem 15.4.1983 bin ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der FU Berlin tätig.

Papyrus-Druck GmbH Berlin ☎ 3416451
Dissertationen